



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Treball Final Grau

Sostenibilitat energètica d'un edifici

Autor: Xavier Artacho Gómez

Tutor: Jose Juan de Felipe Blanch

Grau en Enginyeria Mecànica

Data: 08 de Juny de 2018



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

SOSTENIBILITAT ENERGÈTICA D'UN EDIFICI

XAVIER ARTACHO GÓMEZ

Resum

Aquest projecte vol aconseguir conscienciar a la població de què és possible la disminució de la contaminació global, reduint l'aportació de CO₂ a l'atmosfera derivada a causa de la crema de combustibles fòssils per a la producció d'energia, així com fomentar què és possible utilitzar els recursos naturals per a poder cobrir les necessitats bàsiques considerades com a mínimes utilitzant mètodes de captació d'energies totalment renovables i sense produir cap impacte al medi ambient.

Per a la realització del projecte s'ha comptat amb la integració de diverses energies de caràcter renovable per tal de poder abastir totes les necessitats bàsiques. Les energies utilitzades a l'estudi han sigut: l'energia geotèrmica, amb la que ens assegurem d'aconseguir l'aigua calenta sanitària, calefacció i refrigeració, l'energia solar, usada per abastir les necessitats de consum de punts de llum com electrodomèstics dels habitatges de l'edifici i l'energia eòlica pel subministrament de l'energia elèctrica que cal per a fer funcionar la bomba de calor.

Tot i que el cost de la instal·lació, ha sigut elevat, elements com la bomba de calor geotèrmica són rentables al cap de tres anys de la seva instal·lació. A més de que s'ha pogut aconseguir una reducció de les tones equivalents CO₂ (TEPs) d'aproximadament uns 13192 kg.

Abstract

This project aims to raise awareness of what is possible to reduce global pollution, reducing the contribution of CO₂ to the atmosphere derived from the burning of fossil fuels for energy production, as well as making the population aware of what is possible to use the resources natural to meet the basic needs considered as minimum using methods of capturing completely renewable energies and without any impact on the environment.

For the realization of the project has been the integration of several renewable energies to meet all energy needs. The energies used in our study have been geothermal energy, with which we make sure to supply the hot water, heating and cooling, solar energy, used to supply the consumption needs of light points as appliances of the dwellings of the building, and Wind power for such supply the missing electrical power to the heat pump.

Although the amount of the installation has been high, elements such as the geothermal heat pump are profitable after three a year of installation. In addition, a reduction of the equivalent tons of CO₂ is approximately to 13192 Kg.

Índex

Resum	3
Abstract.....	4
1. Introducció.....	7
1.1. Objectius del projecte	7
1.2. Motivació.....	7
2. Antecedents	8
2.1. Localització i descripció de l'edifici.....	8
2.2. Descripció climatològica de la localitat.....	8
2.3. Descripció geològica de la localitat.....	9
2.4. Descripció tèrmica del terreny de la localitat.	11
2.5. Descripció de l'edifici.....	13
2.5.1. Càlcul de carregues tèrmiques.....	14
2.5.2. Estudi energètic de l'edifici.....	21
3. Disseny de la instal·lació d'energia geotèrmica.....	23
3.1. Descripció de la instal·lació.....	23
3.2. Avaluació de la calor d'intercanvi amb el terreny.	24
3.3. Elecció de la bomba de calor per l'edifici.	28
3.4. Estimació i càlculs segons la bomba geotèrmica	31
3.5. Càlcul del sondeig geotèrmic.	35
4. Disseny de la instal·lació d'energia solar fotovoltaica.	40
4.1. Estudi energètic de la instal·lació.....	40
4.1.1. Les necessitats segons el sol.....	40
4.2. Elecció dels panells solars.....	44
4.3. Elecció de les bateries.....	49
4.4. Elecció dels reguladors.	52
4.5. Elecció dels inversors.	53
4.6. Elecció i configuració del sistema elèctric.	55
5. Disseny de la instal·lació d'energia eòlica.	60
5.1. Les necessitats per la demanda d'energia eòlica.....	60
5.2. Classificació i característiques de les turbines eòliques.....	60
5.3. Principis bàsics de la conversió energètica.....	61
5.4. Aerodinàmica de les turbines.....	64

5.5.	Disseny del rotor	66
5.6.	Elecció del nostre aerogenerador.	67
6.	Solució tècnica i alternatives.....	70
6.1.	Certificació energètica de l'edifici.....	70
6.2.	Impacte ambiental.....	70
6.2.1.	Disminució de la contaminació degut a la instal·lació d'energia solar.....	70
6.2.2.	Disminució de la contaminació degut a la instal·lació d'energia geotèrmica. 70	
6.2.3.	Disminució de la contaminació degut a la instal·lació d'energia eòlica.....	71
6.3.	Pressupost i amortiment.....	72
6.3.1.	Pressupost i amortiment de la instal·lació d'energia solar.....	72
6.3.2.	Pressupost i amortiment de la instal·lació d'energia geotèrmica.....	73
6.3.3.	Pressupost i amortiment de la instal·lació d'energia eòlica	74
6.3.4.	Amortiment global del projecte	75
7.	Conclusió.....	76
8.	Annexos.....	77
8.1.	Plànols.....	77
9.	Bibliografia	79

1. Introducció

1.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és l'establiment, a un edifici ja construït, les mesures necessàries perquè aquest arribi a ser totalment independent sense haver de contractar cap energia externa, és a dir, que es pugui auto abastir per a ell mateix a partir de la instal·lació de diferents sistemes de captació i acumulació d'energia renovable.

1.2. Motivació.

La motivació a l'hora de fer aquesta proposta és poder conscienciar que s'ha d'aprofitar al màxim els recursos que la natura ens proporciona, ja que som capaços de poder transformar-los en diversos tipus d'energia, capaces de satisfer els nostres requisits primaris com són la higiene, l'alimentació, una temperatura ambient de confort i la llum.

Gràcies al pas del temps, les tecnologies han anat avançant i amb elles noves oportunitats de poder investigar nous materials i/o noves formes de poder captar, acumular i transformar els recursos naturals en forma d'energia totalment renovable, amb 0% d'emissions de CO2 derivades de la seva producció i sense causar cap impacte mediambiental degut a la seva utilització o producció.

A partir d'aquí, un cop analitzada la manera de poder explotar els sistemes de captació d'energies renovables, s'ha sigut capaç d'integrar aquestes tecnologies en construccions, i com a conseqüència, reduir el consum desmesurat d'energia provident de combustibles fòssils causants de la major part de la contaminació mundial. Energies tals com l'energia solar, la geotèrmica o l'eòlica juntament amb la combinació d'una anàlisi energètic de l'edifici o construcció han sigut capaces de poder abastir de totes les comoditats necessàries com per a poder realitzar una vida quotidiana sense produir cap emissió i sense causar cap impacte al medi ambient.

2. Antecedents

2.1. Localització i descripció de l'edifici.

L'edifici que utilitzarem com a exemple en aquest projecte és una construcció realitzada a l'any 2005, format per quatre plantes que consten de dos habitatges a cada una. L'edifici compta a més amb un pàrquing a la part baixa amb la mateixa superfície que aquest, i també disposa d'un espai verd de 223 m².

Dita construcció està situada a la localitat de Molins de Rei, província de Barcelona, orientada a una latitud de 41,25° i 206° Sud/Oest.

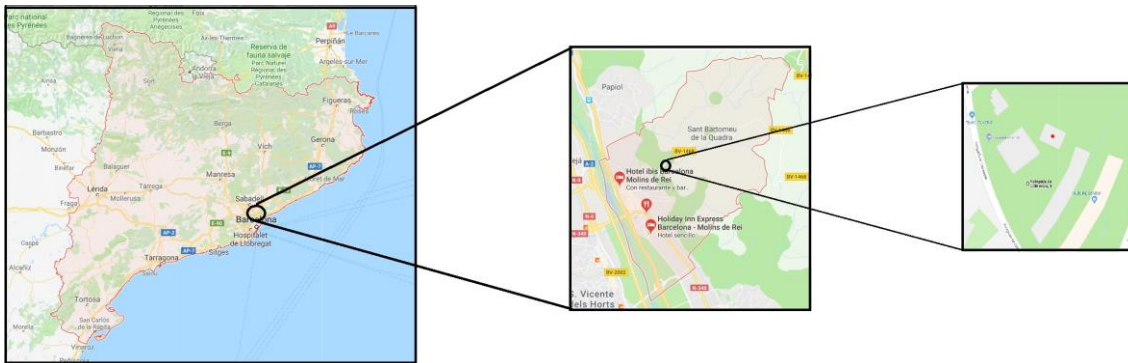


Figura 1: Localització de l'edifici

2.2. Descripció climatològica de la localitat.

Per a poder dimensionar correctament la instal·lació s'ha de tindre en compte les dades climatològiques on anirà aquesta. El motiu principal de l'estudi és conèixer les necessitats que poden sorgir en els mesos de l'any on les temperatures poden ser més desfavorables.

Per a poder esbrinar aquesta informació consultem la font proporcionada pel codi tècnic de l'edificació. En l'apartat HE1-B es troben les anomenades zones climàtiques en funció de la latitud i de l'altitud, i segons la localització de l'edifici, consta d'una zona climàtica II. A més la localitat compta aproximadament amb una mitja mensual de quatre dies ennuvolats al mes.

Un cop sabuda en quina zona climàtica es troba, es consulten els arxius que proporciona la mateixa pàgina, anomenats MET. Aquests arxius ens proporcionen totes les dades climatològiques, en el període d'un any, necessàries per a l'estudi de la climatologia de la localitat.

Un cop consultades les taules, Molins de rei disposa d'una temperatura mitjana anual de 14,5°C, amb màximes de 32°C i mínimes de -1°C.

2.3. Descripció geològica de la localitat

Depenent del tipus de subsòl del qual disposi la localitat, les propietats tèrmiques variaran, per la qual cosa, és necessari realitzar un estudi geològic de la zona i determinar quin tipus de subsòl hi ha.

Per determinar aquest requisit, es consulta la informació a la web del *Institut geològic i miner d'Espanya*, on es troba diversa informació sobre el terreny a estudiar.

Concretades totes les capes per les quals està compost el subsòl de la localitat, s'han extret els valors necessaris a través d'una taula per a determinar el tipus de terra.

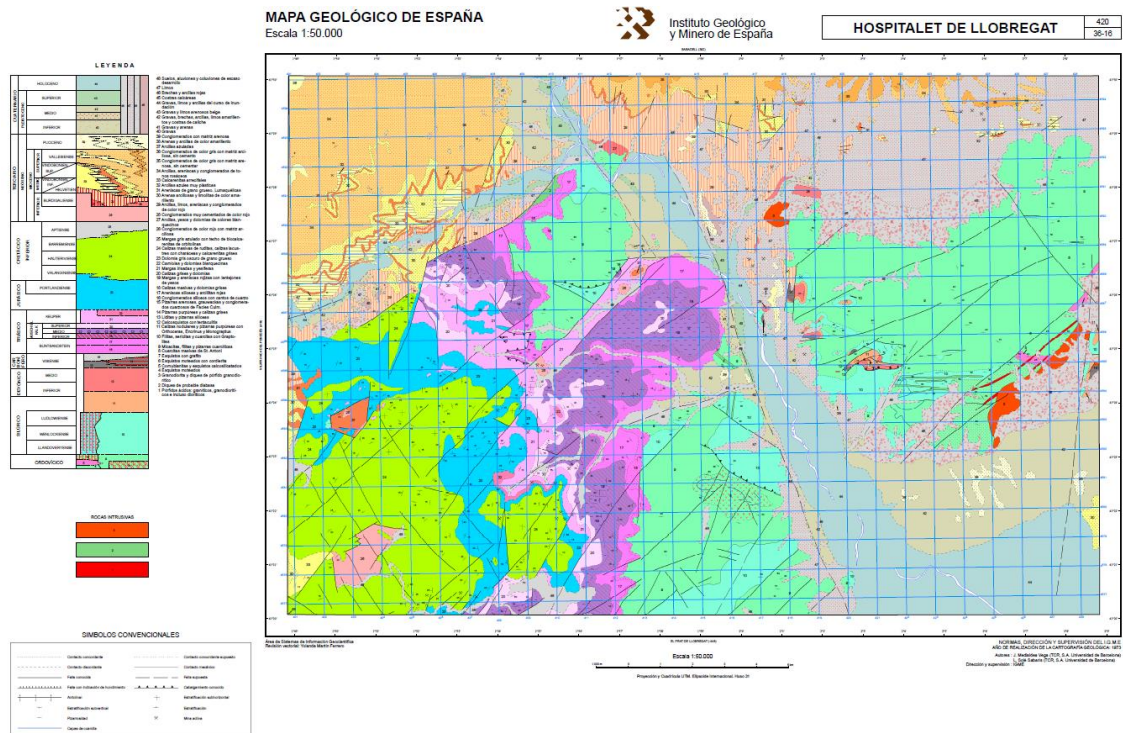
Finalment, l'estudi ha estat realitzat fins a cent metres de profunditat i s'ha extret la següent informació.

- Nivell 1: Profunditat de sondeig de 56 metres. Sorres de gra fi, sorres calcàries i conglomerades.
- Nivell 2: Profunditat de sondeig des de 56 metres fins a 71 metres. Argila vermella.

SOSTENIBILITAT ENERGÈTICA D'UN EDIFICI

XAVIER ARTACHO GÓMEZ

- Nivell 3: Profunditat de sondeig des de 71 metres fins a 95 metres. Argiles de color gris amb tons verds en la part inferior.
- Nivell 4: Profunditat de sondeig des de 95 fins a 100 metres. Argiles de color verd clar una mica balcaries.



2.4. Descripció tèrmica del terreny de la localitat.

Un cop sabut com està compost el subsòl de la localitat, s'ha de transformar la informació obtinguda en referències necessàries per determinar les dades tèrmiques que pot aportar el terreny a la instal·lació.

Ja que el terreny absorbeix aproximadament un 46% de la radiació solar, la capacitat tèrmica de la terra és molt elevada. A causa d'això, les variacions de temperatura es produeixen amb més lentitud que en l'atmosfera, de manera que la calor acumulada durant l'estiu es pot utilitzar a l'hivern.

Així doncs, la temperatura del terreny és més gran a l'hivern que la temperatura de l'aire exterior i, pel cas contrari, a l'estiu la temperatura exterior és més elevada que la del terreny. Això fa que la bomba de calor aprofiti aquestes diferències de temperatures per la producció d'aigua calenta sanitària i per a la climatització de l'habitatge.

Gràcies a la informació proporcionada al *Atles Geogràfic de Catalunya* com a la *Guia tècnica de disseny de sistemes de bombes de calor per a geotèrmia*, i tenint en compte que l'estudi realitzat a estat per al nivell número 1 que arriba fins a una profunditat de 56 metres i està compost per diversos tipus de sorres, s'obtenen dades com conductivitat tèrmica, capacitat calorífica i difusivitat tèrmica entre d'altres mostrades a continuació.

Conductividad (W/mk)	0,55
Capacidad calorifica volumetrica (MJ/m ³ *K)	1,45
Profundidad (m)	56
Difusividad (m ² /s)	0,00000028
Difusividad (m ² /día)	0,024192

Taula 1: Taula on es mostren les diferents dades característiques tèrmiques del terreny per al primer nivell de profunditat.

Com la temperatura mitjana de la superfície del terreny no és la mateixa depenent de l'època de l'any, s'ha d'establir a quina profunditat la temperatura no varia sense importar en quina estació de l'any ens trobem. A més la bomba de calor refredarà el terreny l'hivern i l'escalfarà a l'estiu, per això és necessari estimar l'evolució de la temperatura del terreny en funció del mes i de la profunditat.

Per a poder realitzar aquest estudi s'utilitza el model d'evolució de la temperatura, que consisteix a estimar la temperatura mitjançant models com el de *Hillel*. Aquest model compara la temperatura del terreny en funció de la profunditat i del dia de l'any.

Així doncs, les temperatures màximes i mínimes del terreny per tal de trobar una temperatura mitjana es poden calcular aplicant les equacions de *Hillel* mostrades a continuació.

$$T(z, t) = T_0 - A_0 * e^{-z * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}}} * \cos\left(\frac{2 * \pi}{365} * \left(t - t_0 - \frac{z}{2} * \sqrt{\frac{365}{\pi * \alpha}}\right)\right)$$

$$T_{min}(z) = T_0 - A_0 * e^{-z * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}}}$$

$$T_{max}(z) = T_0 + A_0 * e^{-z * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}}}$$

On:

- Z és la profunditat en metres
- T_0 és la temperatura mitjana anual del terreny en °C que correspon a la temperatura mitjana de l'aire de l'ambient.
- A_0 és la màxima diferència de temperatura mitjana diària anual de l'aire ambient.
- α és la difusivitat tèrmica del terreny en m²/dia, depenent del tipus de subsòl i del contingut d'aigua.

Finalment, es comproven les diferents temperatures que té el terreny des de la superfície fins a una profunditat de 20 metres amb gradients de mig metre.

Aquesta lectura la farem per a cada mes de l'any. Així doncs, i mitjançant el gràfic següent es pot observar que el terreny adquireix una temperatura estable a partir dels 15 metres on la temperatura és constant a 15°C.

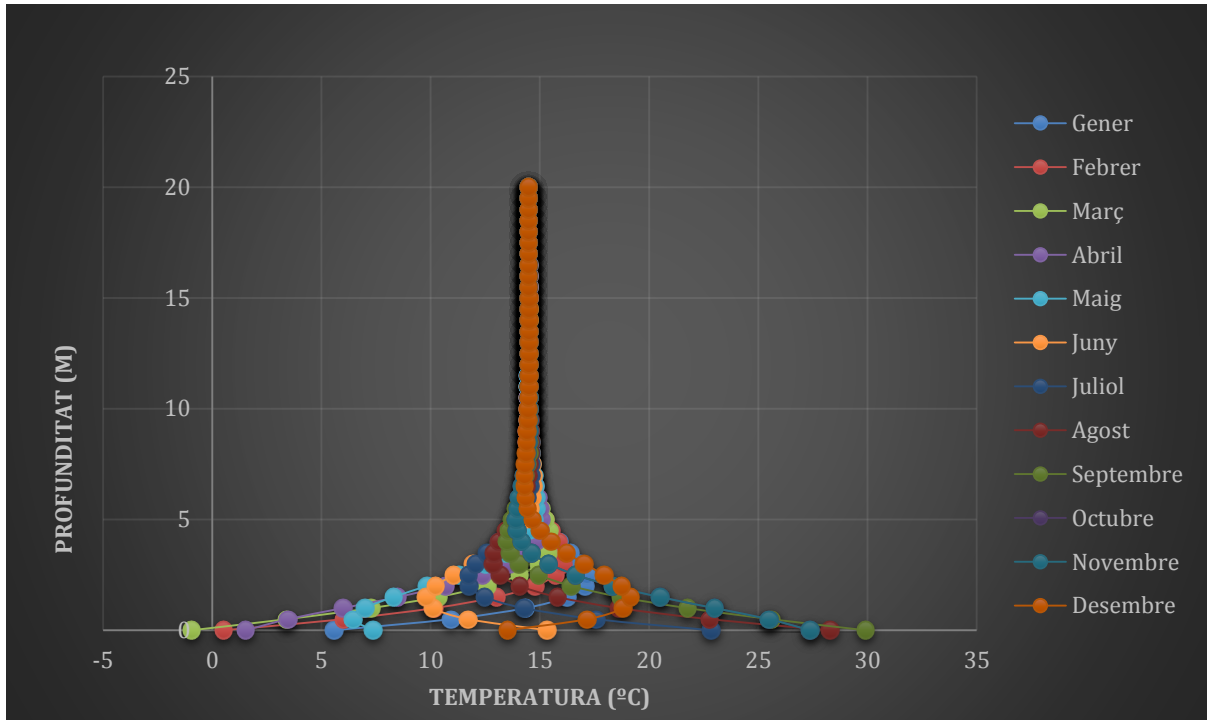


Figura 3: Gràfic on es mostra la temperatura del terreny per a cada mes de l'any fins a una profunditat de 15- 20 metres.

2.5. Descripció de l'edifici.

En aquest apartat es realitza una auditoria del que serà l'edifici tipus. A causa de que la construcció compte amb vuit habitatges idèntics, es realitza l'auditoria energètica d'un sol habitatge, que s'anomenarà "habitatge tipus".

L'estudi de dita auditoria estarà basat en la realització de dos apartats, els quals, un serà la necessitat energètica mínima per a la instal·lació d'energia solar fotovoltaica, i per altra banda un informe tèrmic per a la instal·lació d'energia geotèrmica.

2.5.1. Càlcul de carregues tèrmiques.

Per a la realització d'aquests càlculs s'ha adoptat el mètode anomenat IGSHPA descrit per a instal·lacions de menys de 70 kW. Aquest mètode per al disseny de bescanviadors enterrats està basat en la teoria de la font de calor en forma d'una línia infinita.

Segons dita teoria, el bescanviador de calor que cedeix o pren la calor del terra es comporta com un injector o extractor de calor amb un gruix petit i una longitud infinita, per la qual cosa només cedeix calor en sentit radial.

Aquest mètode està catalogat com un mètode de càlcul estàtic, per la qual cosa, s'assumeix que el sistema només funciona durant un temps determinat a una càrrega constant i amb la temperatura del terreny més desfavorable, és a dir, al mes de gener per a calefacció i al mes de juliol per a refrigeració amb una temperatura de l'aigua constant. Això vol dir que no té en compte l'efecte d'acumulació o dissipació de la calor del terreny.

L'anterior mètode utilitza diverses metodologies que, amb la seva combinació permet avaluar quina seria la configuració més idònia per a poder instal·lar una bomba de calor geotèrmica, a més de la viabilitat de dita instal·lació.

2.5.1.1. *Dades climàtiques i models de distribució de la temperatura del terreny.*

Aquest tipus de model està dissenyat tenint en compte la quantitat de calor o fred que l'edifici pot injectar al terreny. Degut a això, la càrrega i la capacitat estan directament relacionades amb les variacions de temperatura de l'aire i del terreny.

Per això, en aquest apartat s'ha realitzat un estudi climàtic de la temperatura de l'aire exterior. Aquest estudi conté la generació de períodes incrementals de temperatura, que en aquest cas són de 2°C durant cada dia de l'any, contemplats de manera anual, al mes de gener i al mes de juliol.

Increment de temperatures (temperatura bins)	Temperatures mitjanes	Hores anuals d'ocurrència	Hores anuals d'ocurrència al Gener	Hores anuals d'ocurrència al Juliol
-2 a 0	-1	32	12	0
0 a 2	1	116	42	0
2 a 4	3	217	54	0
4 a 6	5	462	86	1
6 a 8	7	780	147	1
8 a 10	9	953	169	5
10 a 12	11	986	131	25
12 a 14	13	973	65	41
14 a 16	15	849	27	44
16 a 18	17	798	11	66
18 a 20	19	674	0	80
20 a 22	21	546	0	83
22 a 24	23	463	0	96
24 a 26	25	365	0	92
26 a 28	27	277	0	90
28 a 30	29	174	0	61
30 a 32	31	95	0	59
Total		8760	744	744

Taula 2: Taula de l'estudi climàtic de l'aire exterior segons increments de 2°C de la zona climàtica C2.

2.5.1.2. Càlcul de les càrregues tèrmiques de l'edifici.

A partir d'aquí, el primer que s'ha de saber per poder fer els càlculs és realitzar un estudi de càrregues tèrmiques de l'edifici. En aquest cas, com la construcció té vuit habitatges, les quals són totes iguals, s'ha decidit efectuar l'estudi per a un sol habitatge, traslladant així, les dades obtingudes a la resta dels habitatges de l'edifici.

Per a la realització de l'estudi de càrregues tèrmiques s'ha utilitzat l'eina *CLIMA* obtinguda a partir de la web *Atecyr*. Aquesta eina demana primer de tot les dades climàtiques i de localització, que en aquest cas per a Barcelona és un C2. Les dades d'ús de l'edifici, on s'han d'anomenar quin tipus d'ús està destinat, serà d'ús residencial, a més del tipus de lluminàries que s'utilitzà, com els equips sensibles i

latents. Tot seguit, en la següent finestra del programa hem de definir els m² totals de l'habitatge, el número d'habitacions i els seus m² i per últim, el tipus de material del qual estan formades les parets interiors i els murs exteriors, sense oblidar les finestres que també aportaran un augment de la transmissió tèrmica a l'interior de l'edifici.

Un cop introduïda tota la informació que demana s'obtenen els resultats amb les necessitats que calen tant per refrigeració i calefacció anuals de manera gràfica. A més aquestes dades es multiplicaran per vuit, que són el número d'habitatges totals de l'edifici, dades que seran mostrades a continuació:

- Càrrega tèrmica per a calefacció: $3.01 \text{ kW} * 8 = 24.08 \text{ kW}$
- Càrrega tèrmica per a refrigeració: $4.88 \text{ kW} * 8 = 35.52 \text{ kW}$
- Demanda total de l'edifici per a calefacció: $1128.34 \text{ kWh} * 8 = 9026.72 \text{ kWh}$
- Demanda total de l'edifici per a refrigeració: $1994.36 \text{ kWh} * 8 = 15954.9 \text{ kWh}$

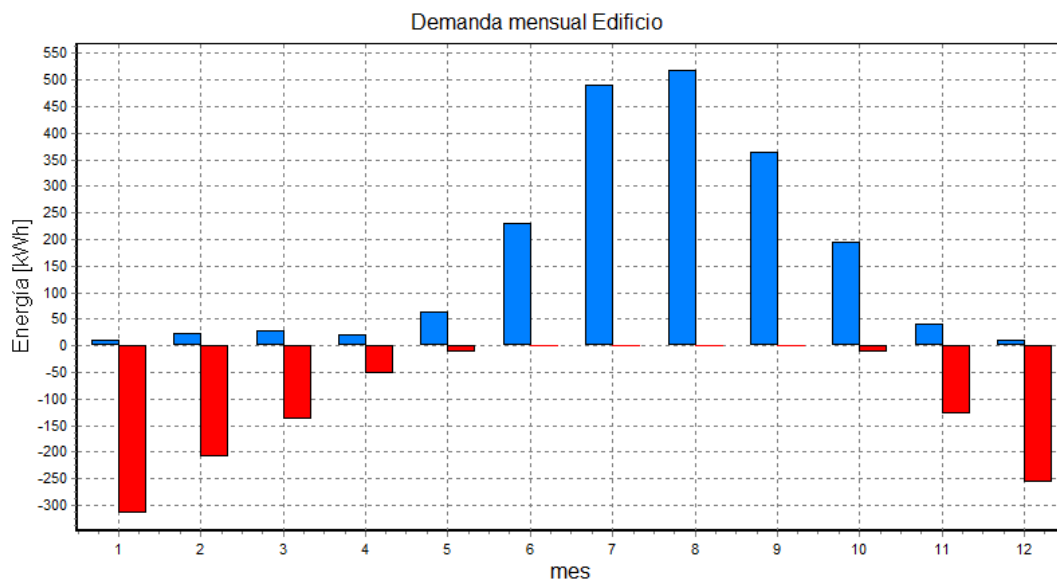


Figura 4: Gràfic de la demanda energètica de l'edifici segons les càrregues tèrmiques.

Definides les necessitats energètiques de l'edifici, és a dir, les càrregues tèrmiques de disseny, s'estableixen els coeficients C_0 i C_1 per poder realitzar els càlculs de càrregues tèrmiques de l'edifici tant per calefacció com per a refrigeració.

Per a la càrrega tèrmica de calefacció i per a la temperatura d'hivern de disseny, l'exterior, es poden relacionar a través de l'equació $T(z,t)$, que com es pot veure a continuació la formula queda de la següent manera:

$$\dot{Q}_{\text{disseny de calefacció}} = C_0 + C_1 * t_{d,calef}$$

Aleshores, la integració de dita corba sobre la distribució de temperatures mostrades, ens donarà la següent formula:

$$Q_{\text{total de calefacció}} = \sum_{i=1}^p (C_0 + C_1 * t_{0,i}) * h(T_{0,i})$$

On:

- $T_{0,i}$ és la temperatura mitjana de l'aire exterior per a cada interval de temperatures.
- $h(T_{0,i})$ és el número d'hores de la temperatura exterior $T_{0,i}$, l'estació de calefacció.
- Q és la càrrega total de calefacció per al període d'hivern donat en kWh.

A partir d'aquí, sorgeix el problema què hi ha dues variables desconegudes, però utilitzant les fórmules anteriors i combinant-les amb les de $T(z,t)$ i T_{\min} obtenim el valor de C_0 i C_1 de la següent manera:

$$C_0 = \frac{\dot{Q}_{\text{disseny de calefacció}} * \sum_{i=1}^p (T_{0,i}) * h(T_{0,i}) - Q_{\text{total de calefacció}} * T_{d,calef}}{\sum_{i=1}^p (T_{0,i}) * h(T_{0,i}) - T_{d,calef} * \sum_{i=1}^p h(T_{0,i})}$$

$$C_0 = \frac{Q_{\text{total de calefacció}} - \dot{Q}_{\text{disseny de calefacció}} * \sum_{i=1}^p (T_{0,i})}{\sum_{i=1}^p (T_{0,i}) * h(T_{0,i}) - T_{d,calef} * \sum_{i=1}^p h(T_{0,i})}$$

Aquests intervals de temperatura obtinguts que es deuen considerar per al càlcul, han de ser superiors a la temperatura d'equilibri pel fet que:

$$T_{\text{balanç}} = \frac{-C_0}{C_1}$$

Per la qual cosa, cada vegada que es calculi C_0 i C_1 s'haurà de calcular també $T_{\text{balanç}}$ (temperatura d'equilibri tèrmic) i per tant, s'haurà de procedir a tornar a calcular els valors de C_0 i C_1 amb els valors dels intervals de temperatura superiors, sent així, un càlcul interactiu fins a trobar la solució.

En aquest cas en concret, els valors dels coeficients C_0 , C_1 i $T_{\text{balanç}}$ han acabat convergint en 21.9, -2.76 i 7.94 respectivament, tal com es mostren a continuació:

c0	c1	Tbalance
22,9266527	-1,51756221	15,1075538
22,4878113	-2,0949852	10,7341146
22,1848752	-2,49358521	8,8967785
21,9783298	-2,76535559	7,94774091
21,9783298	-2,76535559	7,94774091

Taula 3: Valor de convergència de la T^a dels coeficients C_0 i C_1 i $T_{\text{balanç}}$ per calefacció

A més, es mostra a continuació en forma de gràfic la càrrega de calefacció (en Kw) necessària.



Figura 5: Càrrega de calefacció (kW).

Per a la refrigeració s'utilitzaran les fórmules descrites anteriorment mostrades a continuació, però amb alguna modificació per tal d'obtenir el resultat desitjat.

$$C_0 = \frac{\dot{Q}_{\text{disseny refrigeració}} * \sum_{i=1}^p (T_{0,i}) * h(T_{0,i}) - Q_{\text{total de refrigeració}} * T_{d,refr}}{\sum_{i=1}^p (T_{0,i}) * h(T_{0,i}) - T_{d,refr} * \sum_{i=1}^p h(T_{0,i})}$$

$$C_0 = \frac{Q_{\text{total refrigeració}} - \dot{Q}_{\text{disseny de refrigeració}} * \sum_{i=1}^p (T_{0,i})}{\sum_{i=1}^p (T_{0,i}) * h(T_{0,i}) - T_{d,refr} * \sum_{i=1}^p h(T_{0,i})}$$

El procediment anomenat anteriorment s'utilitza per obtenir un conjunt separat de coeficients C_0 i C_1 per l'estació de refrigeració (estiu). Només s'ha de conèixer la T_d (temperatura de disseny de l'aire exterior per a estiu), la càrrega de refrigeració ($Q_{\text{disseny de refrigeració}}$) i la càrrega total de refrigeració de l'edifici ($Q_{\text{total de refrigeració}}$).

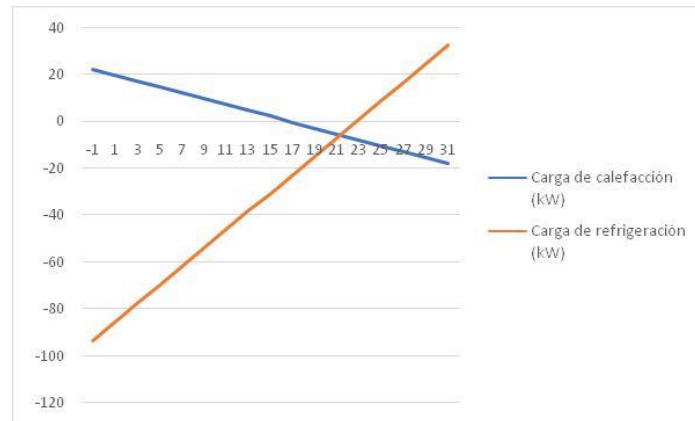
Per tant, utilitzant els dos conjunts de coeficients es pot calcular la càrrega d'escalfament i refredament per a cada interval de temperatura seleccionats en les dades climàtiques.

En aquest cas, els valors dels coeficients C_0 i C_1 i T_{balance} han acabat convergint en -89.7, 3.95 i 22.71 respectivament, tal com es mostren a continuació.

c0	c1	Tbalance
-26,330455	1,95111845	13,4950571
-44,7746353	2,53295379	17,6768464
-60,6804863	3,03471566	19,9954438
-81,4871771	3,69107814	22,0767954
-89,7636113	3,95216439	22,7125196

Taula 4: Valor de convergència de T^a dels coeficients C_0 i C_1 i T_{balance} per refrigeració.

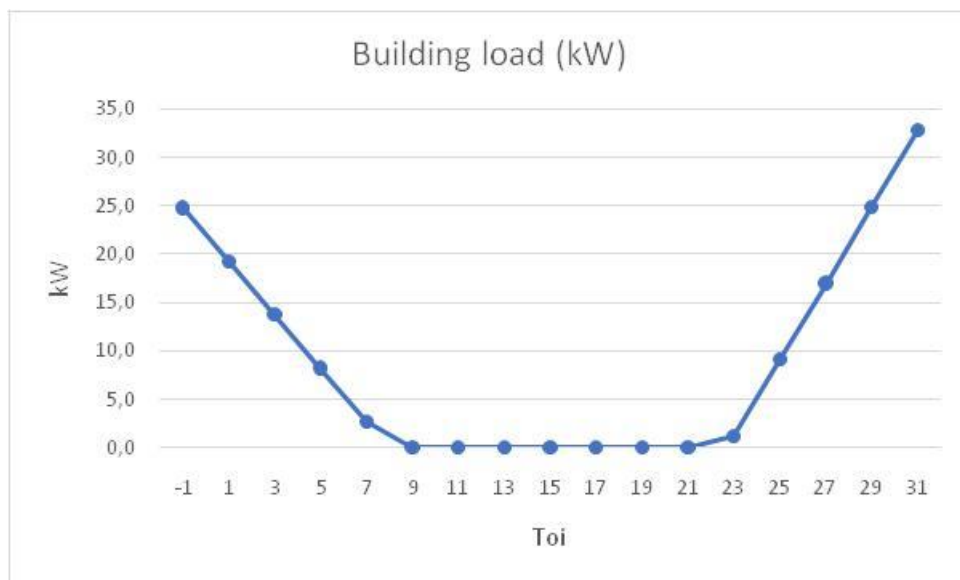
Seguidament, s'observa en forma de gràfic la càrrega de refrigeració (en Kw) necessària.



***Figura 6:** Càrrega de refrigeració (kW).*

Finalment, per als mesos d'hivern i segons la càrrega de l'edifici, no s'aconsegueix el funcionament de la bomba de calor fins que la temperatura exterior no sigui inferior als 7°C. No obstant això, la bomba de calor no començarà a funcionar fins que no s'assoleixi una temperatura mínima de 21°C per als mesos de refrigeració.

A continuació és mostra un gràfic amb la demanda de potència segons la temperatura, a causa de les càrregues tèrmiques de l'edifici.



***Figura 7:** Càrregues tèrmiques de l'edifici. (kW).*

2.5.2. Estudi energètic de l'edifici.

La intenció de la instal·lació d'un camp solar fotovoltaic a la teulada és la d'abastir les necessitats elèctriques de l'edifici.

Per això s'ha realitzat un estudi aproximat de les necessitats mínimes per a cada habitatge, comptant amb un consum normal quotidià i amb tots els electrodomèstics necessaris per al dia a dia.

Així doncs, s'ha fet una auditoria a un dels "habitatges tipus" per tal de saber quin és el nombre d'aparells o electrodomèstics que conté, la potència que consumeix cada un d'ells i l'ús diari que l'hi poden donar.

Aquesta auditoria serveix de referència i es trasllada a la resta dels habitatges sent així la referència per al consum global de l'edifici.

S'ha de tenir en compte que per poder abastir la demanda d'electricitat necessària per cobrir totes les necessitats de l'edifici s'hauran de deixar de banda possibles aparells elèctrics de gran consum que fan augmentar molt considerablement el consum d'energia elèctrica fent inviable el procés d'acumulació d'energia per a l'auto abastiment.

Per la qual cosa, elements com la bomba de calor queden exemptes de la instal·lació d'energia solar fotovoltaica.

A continuació es mostrarà una taula on es pot veure detalladament el consum per a cada espai de l'habitatge i els aparells utilitzant.

SOSTENIBILITAT ENERGÈTICA D'UN EDIFICI

XAVIER ARTACHO GÓMEZ

Necessitats per a 1 sol habitatge

ESTANCIA	FONT DE CONSUM	NUMERO D'APARELLS	POTENCIA	HORES DIA	W/h dia	WATS
Habitació 1	Llum	2	4,5	1,5	13,5	9
	TV	1	1000	0,1	100	1000
	Endoll 1	1	10	0,25	2,5	10
	Endoll 2	1	10	0,25	2,5	10
Habitació 2	Llum	2	4,5	1	9	9
	TV	1	1000	0,1	100	1000
	Endoll 1	1	10	0,25	2,5	10
	Endoll 2	1	10	0,25	2,5	10
Habitació 3	Llum	2	4,5	1	9	9
	TV	1	1000	0,1	100	1000
	Endoll 1	1	10	0,25	2,5	10
	Endoll 2	1	10	0,25	2,5	10
Habitació 4	Llum	2	4,5	1	9	9
	TV	1	1000	0,1	100	1000
	Endoll 1	1	10	0,25	2,5	10
	Endoll 2	1	10	0,25	2,5	10
Cuina	Nevera (A+)	1	220	12	2640	220
	Forn	1	1000	0,25	250	1000
	Microones	1	1200	0,25	300	1200
	Rentaplats	1	1000	0,5	500	1000
	Campana	1	500	0,5	250	500
	Llum	3	24	3	216	72
	TV	1	1000	0,5	500	1000
	Rentadora (A++)	1	350	0,25	87,5	350
	Endoll 2	1	10	0,25	2,5	10
	Endoll 3	1	10	0,25	2,5	10
Menjador	Llum 1	1	40	3	120	40
	Llum 2	1	80	0,5	40	80
	TV	1	1000	2	2000	1000
	Equip só	1	2000	0,1	200	2000
	Endoll 1	1	10	0,25	2,5	10
	Endoll 2	1	10	0,25	2,5	10
	Router	1	10	16	160	10
	Telefón	1	10	24	240	10
Lavabo 1	Llum	2	4,5	1,5	13,5	9
	Secador	1	1000	0,1	100	1000
	Endoll 2	1	10	0,1	1	10
Lavabo 2	Llum	1	4,5	1,5	6,75	4,5
	Endoll 1	1	1000	0,1	100	1000
	Endoll 2	1	10	0,1	1	10
Edifici	Llums	10	4,5	2		0
					8196,25	14671,5

Nº d'habitatges

8

Potencia total necesaria per l'edifici

65570
W/h dia117372
WATTS

Taula 5: Taula on es mostren les necessitats d'un habitatge tipus utilitzada per al nostre estudi.

Finalment, després de la realització l'auditoria general de l'edifici s'obtenen unes necessitats diàries de 65570 W/h dia.

3. Disseny de la instal·lació d'energia geotèrmica.

3.1. Descripció de la instal·lació.

Ja que una de les necessitats bàsiques és la de l'aigua calenta sanitària i la de la calefacció, en aquest apartat es descriuen les cobertures d'aquestes necessitats gràcies a l'energia geotèrmica.

L'energia geotèrmica és una energia renovable que aprofita la calor del subsòl per climatitzar i obtenir aigua calenta sanitària de forma ecològica.

Hi ha tres tipus d'instal·lacions d'energia geotèrmica, que són les següents:

- La geotèrmia poc profunda ($T^{\circ} < 30^{\circ}\text{C}$)

La calor del subsòl pot recuperar-se mitjançant canonades soterrades o per sondes verticals. Una bomba de calor s'utilitza per escalfar els habitatges individuals i els equips col·lectius.

- La geotèrmia profunda ($30^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 90^{\circ}\text{C}$)

Per als sistemes més importants, com per exemple xarxes urbanes de calor, normalment es realitzen dues perforacions profundes que oscil·len entre 1.500 i 2.500 metres. Un pou de producció capta directament l'aigua de la manta geotèrmica del sòl i l'eleva a un bescanviador de calor. Una vegada refredat, es retorna en el subsòl a través d'una segona perforació allunyada amb la finalitat d'evitar la succió del primer pou.

- La geotèrmia molt profunda ($T^{\circ} > 150^{\circ}\text{C}$)

L'energia extreta arriba a la superfície en forma de vapor més o menys humit. Després del pas a través d'un separador, el vapor sec pot ser utilitzat per fer girar

una turbina i generar electricitat. Un altre procediment és la utilització del cicle de Rankine que permet extreure la calor del fluid geotèrmic.

En aquest cas s'ha decidit utilitzar l'opció d'instal·lació de pou de geotèrmia poc profund. Gràcies al fet que es compte amb una zona verda, propietat de l'edifici, es podrà utilitzar l'espai esmenat per poder realitzar les perforacions i distribuir de manera eficient tots els pous.

3.2. Avaluació de la calor d'intercanvi amb el terreny.

La dimensió de l'intercanviador de calor enterrat es redueix al càlcul de la seva longitud. Per això, la longitud requerida es basa en el cicle d'hivern de la bomba de calor (cicle de calefacció) i en l'extracció de la calor del subsòl, el qual bé donat per la següent expressió:

$$L_{calefacció} = \dot{Q}_{diseño calefacció} * \left[\frac{\frac{(HCOP-1)}{HCOP} * (Rt + RsF_{calef})}{T_{min}(z) - T_{med\ aigua,min}} \right]$$

On:

- HCOP (*Heating Coefficient Operate Performance*) és el rendiment de la bomba de calor.
- Rt és la resistència tèrmica de la canonada.
- Rs és la resistència tèrmica mitjana del terreny.
- Fcalef és el factor de càrrega per escalfament.
- Tmin(z) és la temperatura mínima del terreny no pertorbat.
- Tmed aigua, min és la temperatura mínima mitjana de disseny de l'aigua a l'entrada i a la sortida de la sonda geotèrmica, i a l'entrada i a la sortida de la bomba de calor.

Per altra banda, pel que fa a la refrigeració, la longitud requerida per al cicle d'estiu, el qual, en aquest cas serà on s'injecta calor al terreny, es calcula amb la fórmula següent:

$$L_{\text{refrigeració}} = \dot{Q}_{\text{diseño refrigeració}} * \left[\frac{\frac{(CCOP-1)}{CCOP} * (R_t + R_s F_{\text{refri}})}{T_{\text{med aigua,max}} - T_{\text{max}}(z)} \right]$$

On:

- CCOP (*Cooling Coefficient Operate Performance*) és el rendiment de la bomba de calor.
- R_t és la resistència tèrmica de la canonada.
- R_s és la resistència tèrmica mitjana del terreny.
- F_{refri} és el factor de càrrega per la refrigeració.
- $T_{\text{max}}(z)$ és la temperatura màxima del terreny no pertorbat.
- $T_{\text{med aigua, màx.}}$ és la temperatura mínima mitjana de disseny de l'aigua a l'entrada i a la sortida de la bomba de calor, on l'entrada i la sortida d'aigua del condensador és igual a l'entrada i la sortida d'aigua de la sonda geotèrmica.

Aquestes equacions són una simplificació de les generades per *Ingersoll* i que va ser presentada per *Kavanaugh* and *Rafferty* l'any 1997. Però, aquestes equacions no tenen en compte un possible desequilibri tèrmic a llarg termini que podria alterar la temperatura del terreny, i provocant així, diferències significatives entre la calor injectada i l'extreta del terreny durant un llarg període de temps.

No obstant, aquesta simplificació és acceptable en el cas d'un estat d'avaluació previ i per al dimensionat d'equips de baixa potència.

Per a les equacions mostrades amb anterioritat, se'ls hi aplica un determinat tipus de circuit horitzontal i vertical.

- Per un sistema horitzontal tancat s'utilitza un sistema de dos tubs de 31,8 mil·límetres de diàmetre nominal, soterrats a 1,8 i a 1,2 metres per sota de la superfície.
- Per un sistema vertical tancat s'utilitza una sonda amb un tub en forma de "U" de 31,8 mil·límetres de diàmetre nominal.

Per a la utilització de les equacions anteriors es requereix prèviament el càlcul de R_t , que és la resistència tèrmica de la canonada i també és necessari calcular la R_s que és la resistivitat tèrmica mitjana del terreny, les quals, són determinades per consideracions físiques i geotèrmiques.

Per a calcular la R_t , utilitzarem la següent expressió per tal de calcular la resistència tèrmica de la canonada.

$$R_t = \frac{1}{2 * \pi * k} * \ln\left(\frac{D_0}{D_1}\right)$$

On:

- D_0 és el diàmetre de la canonada exterior expressat en metres.
- D_1 és el diàmetre interior de la canonada expressat en metres.
- K és la conductivitat tèrmica del material ($W/m \cdot K$).
- R_t estarà expressat en $K/(W/m)$.

En el nostre cas, el valor de la resistència tèrmica de la canonada és el següent:

$$R_t = \frac{1}{2 * \pi * 0.38} * \ln\left(\frac{32}{26.2}\right) = 0.0838 \frac{K}{W/m}$$

Per altra banda, la R_s o resistivitat tèrmica mitjana del terreny s'utilitza per realitzar un test de resposta tèrmica, on es pot dir que la resistència tèrmica mitjana del terreny és la inversa de la conductivitat tèrmica del terreny.

Per poder realitzar aquest tipus de càlcul es compta amb els mètodes teòrics extrets de la guia tècnica *Disseny de sistemes de bombes de calor geotèrmiques* realitzat per L'IDEA. A més, es poden extreure els valors de la conductivitat tèrmica mitjana del terreny al *Atlas Geotèrmic de Catalunya*, el qual, si es realitza la seva inversa, es troba el resultat de la R_s .

En aquest cas, el valor de la resistivitat tèrmica mitjana del terreny es pot estimar realitzant, primerament, la inversa dels valors màxims i mínims, i després realitzant la seva mitjana, obtenint així el següent resultat:

$$R_{s,max} = \frac{1}{max} = \frac{1}{2.2} = 0.455 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_{s,min} = \frac{1}{max} = \frac{1}{1.8} = 0.555 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_s = \frac{R_{s,max} + R_{s,min}}{2} = 0.505 \frac{K * m^2}{W}$$

A continuació, utilitzant les equacions de sondeig anteriors s'aconsegueixen longituds diferents per al sistema de calefacció que per al sistema de refrigeració. Degut a això, normalment s'elegeix la distància menor, ja que implica menor cost per a la instal·lació i treball de la instal·lació per a la bomba de calor.

No obstant, això comporta que si escollim una longitud de sonda insuficient s'haurà de tindre en compte un equip auxiliar per poder fer forn a la demanda de l'habitatge i així poder cobrir al 100% les necessitats de consum.

3.3. Elecció de la bomba de calor per l'edifici.

Per altra banda, a les equacions descrites amb anterioritat en aquest punt, també se l'hi han d'introduir els valors de la temperatura mitjana de l'aigua de disseny de l'entrada i la sortida de la sonda geotèrmica, de l'entrada i la sortida de la bomba de calor, la temperatura màxima per al règim de refrigeració i la temperatura mínima per al règim de calefacció.

Per conseqüència, aquestes dades estan disponibles en el catàleg de la bomba de calor, les quals, les dades que necessàries són:

- La potència de la bomba de calor en règim de calefacció (\dot{Q}_{calef}): 29.9 kW
- La potència elèctrica en règim de calefacció (\dot{W}_{calef}): 8.6 kW
- La potència de la bomba de calor en règim de refrigeració (\dot{Q}_{refrig}): 25 kW
- La potència elèctrica en règim de refrigeració (\dot{W}_{refrig}): 7.35 kW
- Caudal d'aigua (\dot{m}): $6.55 \frac{m^3}{s}$
- El rang de temperatures d'entrada en règim de calefacció (T entrada, c): 35°C.
- El rang de temperatures d'entrades en règim de refrigeració (T entrada, f): 10°C

Per a la temperatura de sortida de l'aigua en el règim de calefacció s'utilitza, o bé la temperatura de sortida de l'evaporador o de l'entrada al sondeig geotèrmic, descrita de la següent manera:

$$T_{sortida,c} = T_{entrada,c} - \frac{\dot{Q}_{calef} * \frac{HCOP-1}{HCOP}}{C_p * \rho_{aigua} * \dot{m}}$$

$$T_{sortida,c} = 10^{\circ}\text{C} - \frac{29.9 \text{ kW} * \frac{3.476-1}{3.476}}{4.19 * 1000 * 6.55} = 7.21^{\circ}\text{C}$$

Per altra banda, per a la temperatura de sortida de l'aigua en el règim de refrigeració serà o la temperatura de sortida del condensador o l'entrada al sondeig geotèrmic, descrita de la següent manera:

$$T_{sortida,f} = T_{entrada,f} - \frac{\dot{Q}_{refrig} * \frac{CCOP-1}{CCOP}}{C_p * \rho_{aigua} * \dot{m}}$$

$$T_{sortida,f} = 30^{\circ}\text{C} - \frac{25 * \frac{3.4-1}{3.4}}{4.19 * 1000 * 6.55} = 34.24^{\circ}\text{C}$$

Pel que fa a la temperatura de l'aigua de disseny de l'entrada de la bomba de calor, la qual serà màxima en règim de refrigeració i mínima en règim de calefacció, es mesuren segons les equacions mostrades a continuació a partir de les dades tècniques d'aquestes.

$$T_{med aigua,min} = \frac{T_{sortida,c} + T_{entrada,c}}{2} = \frac{7.2^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}}{2} = 8.6^{\circ}\text{C}$$

$$T_{med aigua,max} = \frac{T_{sortida,f} + T_{entrada,f}}{2} = \frac{34.24^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C}}{2} = 32.12^{\circ}\text{C}$$

Uns altres valors que també s'han de tenir en compte són els valors del factor de càrrega o utilització de la calefacció o refrigeració de la bomba de calor anomenats F_{calef} i F_{refri} .

Aquest factor de càrrega o d'utilització de la bomba de calor és la relació entre la demanda tèrmica de l'edifici durant una estació, com pot ser per a demanda de

calefacció o refrigeració, i aquest valor serà dividit per la potència de la bomba de calor, seguint la fórmula descrita a continuació:

$$F = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}}$$

Normalment aquest factor és avaluat per als mesos més desfavorables.

També hi ha una manera de calcular l'avaluació del factor F utilitzant una de les equacions descrites anteriorment, on es calcula la càrrega tèrmica en funció de la temperatura exterior T_0 .

$$\dot{Q} = C_0 + C_1 * t_0$$

Tot seguit, com ja se sap la potència d'estiu i d'hivern per a la bomba de calor de disseny, on es pot calcular la fracció de funcionament de la bomba de calor per a les diferents T_0 segons:

$$\text{Fracció de funcionament} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{bomba\ de\ calor}}$$

I llavors, amb el número d'hores per a cada interval de temperatures exterior, es calcula per a al mes de juny i gener el número total d'hores de funcionament de la bomba de calor. Per la qual cosa, F serà:

$$F = \frac{\text{Hores de funcionament de la bomba de calor}}{\text{hores totals del mes}}$$

A les hores, s'aconsegueix una taula amb tots els valors per a cada interval de temperatures exteriors, obtenint així les hores de funcionament de la bomba de calor. Finalment es fa una suma del total d'hores necessàries per a calefacció i es divideix amb el nombre total d'hores obtenint així el F_{calef} que és la mitjana d'hores que està encesa la bomba de calor en mode calefacció en tot l'any i que

dóna un valor de 0.132. Per altra banda, per al sistema de refrigeració utilitzarem el mateix mètode que amb la calefacció obtenint així un Frefrig de 0.266.

$$F_{calef} = \frac{97.96}{8760} = 0.132$$

$$F_{refrig} = \frac{197.79}{8760} = 0.266$$

3.4. Estimació i càlculs segons la bomba geotèrmica

Per als següents càlculs s'ha de valorar si la bomba de calor que escollida és l'adequada per tal de cobrir les necessitats que l'imposa l'habitatge, és a dir, si està subdimensionada o sobredimensionada. A més, també s'haurà de valorar la calor que s'extreu o que injecta al terreny la bomba de calor.

Per tal de comprovar aquestes dades es realitzen els càlculs següents com són la calor que ens aporta o que extraiem de l'habitatge la bomba de calor en funció de les temperatures de l'aigua en l'intercanviador, i també la potència de l'intercanviador de calor per a les diferents temperatures exteriors.

Per això, és necessari avaluar el COP i les corresponents capacitats, com ara són la potència de l'evaporador i la del condensador, per a cada temperatura exterior, anomenades temperatures bin.

Per avaluar aquestes dades es necessita la temperatura mitjana de l'aigua a l'entrada i a la sortida de la sonda geotèrmica o de la unitat exterior, i per realitzar aquest càlcul s'efectua mitjançant una interpolació lineal.

Així doncs, la temperatura de l'aigua a l'entrada i a la sortida de la bomba de calor es determina de la següent manera:

$$T_{med\ aigua} = T_{min} + \left(\frac{T_{med\ aigua,max} - T_{med\ aigua,min}}{T_{disseny\ estiu} - T_{disseny\ hivern}} \right) * (T_{ext} - T_{disseny\ hivern})$$

$$T_{med\ aigua} = 8.6^{\circ}C + \left(\frac{32.12^{\circ}C - 8.6^{\circ}C}{30.12^{\circ}C - (-0.76^{\circ}C)} \right) * (13^{\circ}C - (-0.76^{\circ}C)) = 19.08^{\circ}C$$

El rendiment o també anomenat HCOP i CCOP d'una bomba de calor es pot considerar que depèn de la temperatura mitjana de l'aigua d'entrada.

El COP i la capacitat de refredament o escalfament es realitza com una relació quadràtica amb la temperatura d'entrada de l'aigua seguint la següent relació:

$$COP_{actual} = COP_{nominal} * (K_0 + k_1 + T_{med\ aigua} + k_2 + T_{med\ aigua}^2)$$

$$\dot{Q}_{c/e} = X(\lambda_0 + \lambda_1 * T_{med\ aigua} + \lambda_2 * T_{med\ aigua}^2)$$

Així doncs, després d'utilitzar la fórmula anterior per a cada valor on actuarà tant el HCOP com el CCOP, s'obtenen uns valors mitjans de 4.02 per al HCOP i de 3.09 per al CCOP.

A més, s'ha de tindre en compte que per a la realització de les fórmules anteriors és necessari conèixer el valor dels coeficients k y λ , on els coeficients els extrèiem de la taula següent.

Correlation Coefficients		Cooling	Heating
COP	k_0	1.53105836E+00	1.00000000E+00
	k_1	-2.29609500E-02	1.55970900E-02
	k_2	6.87440000E-05	-1.59310000E-04
Capacity	λ_0	1.41186164E+00	6.67872140E-01
	λ_1	-2.56202000E-03	2.79889800E-02
	λ_2	-7.24820000E-05	-1.06360000E-04

Taula 6: Taula dels coeficients K_x i λ_x

Per la qual cosa, per cada temperatura exterior, és a dir, per a cada temperatura bin, podrem calcular tant la temperatura mitjana de l'aigua de l'entrada i la sortida de la bomba de calor, el CCOP per a l'època d'estiu i el HCOP per a l'època d'hivern.

Però, a la fórmula anterior hi ha una incògnita que és la "X", on la "X" és el multiplicador de capacitat, i es calcula en funció de si s'assoleix la longitud de l'intercanviador soterrat per a condicions de calefacció o bé de refrigeració.

Si s'assoleix el criteri de disseny de la càrrega per a refrigeració, la capacitat de la bomba de calor és seleccionada per poder cobrir dita càrrega de refrigeració i aleshores es calcula de la següent manera:

$$X = \frac{\dot{Q}_{\text{disseny de refrigeració}}}{\lambda_0 + \lambda_1 * T_{\text{med aigua,max}} + \lambda_2 * T_{\text{med aigua,max}}^2}$$

$$X = \frac{35.52 \text{ kW}}{0,66 + (0,027 * 832.12^\circ\text{C}) + (-0,0001 * (32.12^\circ\text{C})^2)} = 28.31$$

Per altra banda, si s'assoleix el criteri de disseny de la càrrega per a calefacció, la capacitat de la bomba de calor és la seleccionada per tal de cobrir dita càrrega de calefacció i aleshores es calcula de la següent manera.

$$X = \frac{\dot{Q}_{\text{disseny de calefacció}}}{\lambda_0 + \lambda_1 * T_{\text{med aigua,min}} + \lambda_2 * T_{\text{med aigua,min}}^2}$$

$$X = \frac{24.08 \text{ kW}}{0,66 + (0,027 * 8.6^\circ\text{C}) + (-0,0001 * (8.6^\circ\text{C})^2)} = 26.05$$

Ara que ja sabem el valor de "X", que és el multiplicador de la capacitat, podem calcular la calor injectada a l'estiu al terreny i la calor extreta del terreny en l'època d'hivern. Amb l'expressió descrita abans per a cada temperatura bin.

$$\dot{Q}_{c/e} = X(\lambda_0 + \lambda_1 * T_{\text{med aigua}} + \lambda_2 * T_{\text{med aigua}}^2)$$

On després de realitzar aquesta operació per a cada valor segons si és estiu o hivern, s'obté que l'hivern es produiran una mitja de 27.58 kW i a l'estiu es produiran una mitja de 35.98 kW, els necessaris per a cobrir les necessitats mínimes de l'edifici.

Una altra dada a tenir en compte és la càrrega de l'intercanviador de calor la qual, es relaciona amb la capacitat útil de la bomba de calor de la següent manera:

- Per a refrigeració es té en compte que:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_{cond,f} * \frac{CCOP}{CCOP + 1}$$

On:

- \dot{Q}_e és la capacitat de refredament de l'evaporador.
- $\dot{Q}_{conf, f}$ és la calor injectada en l'intercanviador soterrat per al condensador de la bomba de calor en posició de treball l'estiu.

Obtenint així una mitja de 36.7 kW.

- Per a calefacció és té en compte que:

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_{evap,c} * \frac{HCOP}{HCOP - 1}$$

On:

- \dot{Q}_c és la capacitat d'escalfament del condensador.
- $\dot{Q}_{vap, c}$ és la calor estreta en l'intercanviador soterrat per a l'evaporador de la bomba de calor en posició de treball l'hivern.

Obtenint així una mitja de 27.18 kW

A partir d'aquí, amb aquestes dades, ja es pot valorar si la bomba està sobredimensionada o si per al contrari fa falta més potència per poder abastir

totes les necessitats de l'habitatge. A més també es pot saber si existeix una compensació o no entre la calor extreta i la calor injectada al terreny.

3.5. Càlcul del sondeig geotèrmic.

Per tal de saber el nombre de sondejors que s'haurà de realitzar a l'hora de posar en marxa la instal·lació i de complir tots els requisits, és necessari comptar amb una sèrie de característiques i suposar alguns valors com els que explicarem a continuació.

Per a un número "N" de sondejors sabem que

- La superfície unitària és " e^2 "
- La superfície total és " $e^2 * N$ "
- El volum total del terreny és " $e^2 * N * H$ "

Sent així la distribució de la següent manera:

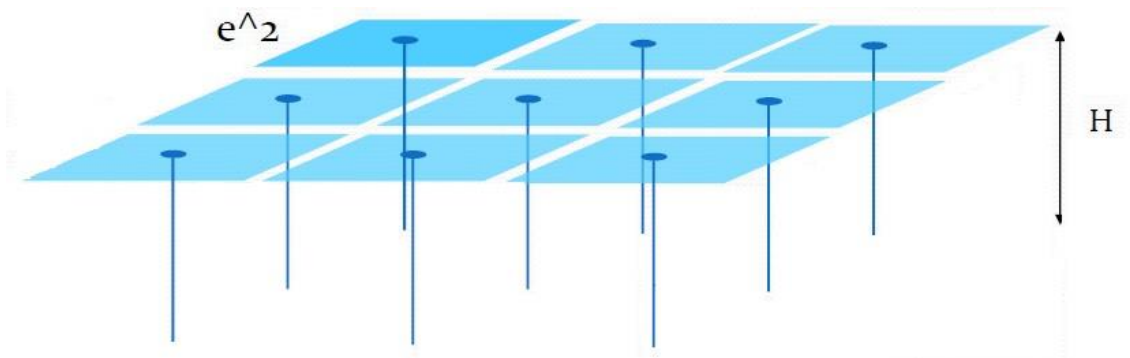


Figura 8: Esquema de la distribució dels pous per a l'energia geotèrmica.

Llavors, per a "N" sondejors es compleix que la superfície total és $e^2 * N$ sent així la següent relació:

- $L * L = e^2 * N$
- $e^2 * \sqrt{N}$

On $L * L$ és la distribució quadrada dels pous i es compleix l'homogeneïtat de les propietats tèrmiques així com la distribució de les potències. A més se sap les propietats tèrmiques del terreny com són la densitat, la calor específica i la conductivitat a més de les dimensions que es té disponibles per a la instal·lació de les sondes geotèrmiques i amb la dimensió el volum.

Així doncs, es determina la capacitat calorífica volumètrica mitjana de les diverses capes i tipus de terrenys que hi tenim disponibles en la localitat, sent així determinada la capacitat calorífica total expressada en J/K i la C_p en $J/m^3 \cdot K$.

$$\text{Capacitat calorífica total } (C) = C_p * H * e^2 * N \left(\frac{J}{K} \right) = 30448.77 \text{ kWh/K}$$

A més és necessari comptar amb la hipòtesi de que hi hagin parets sota la zona de sondejos adiabàtiques, per tant, es considera que la calor injectada o extreta del terreny només incrementarà o disminuirà la temperatura.

$$Q_{\text{evaporador hivern}} = C_p * V * \Delta T = C_p * H * e^2 * N * (T_{0,z} - T_{1,z,w})$$

On es pot calcular la temperatura que podria arribar a aconseguir la massa de roca si s'extreu la quantitat de calor ($t_{1,z,w}$) durant un any sencer.

$$Q_{\text{condensador estiu}} = C_p * V * \Delta T = C_p * H * e^2 * N * (T_{1,z,s} - T_{0,z})$$

Per contra banda, es pot calcular la temperatura que podria arribar a aconseguir la massa de roca si s'injecta la quantitat de calor ($T_{1,z,s}$) durant un any sencer.

Per tant, es pot calcular al final del primer any de funcionament la quantitat de calor que s'ha acumulat o que s'ha dissipat en el terreny i en l'augment o disminució de temperatura que això suposa, sent $T_{1,z} = T_{0,z} + T_{1,z,s} - T_{1,z,w}$.

Degut a això, al variar la temperatura del terreny respecte a la resta, i considerant una distància de longitud "L" en metres, on es produiran les oscil·lacions tèrmiques. Aleshores, es calcula la calor dissipada o generada de la següent manera:

$$Q_{\text{conducció roca}} = \frac{K * A}{L} * \Delta T =$$

$$\frac{K * (4 * ((H + L) * (e * \sqrt{N} + (2 + L))) + ((e * \sqrt{N} + 2 * L)^2))}{L} * (T_{0,z} - T_{1,z})$$

En aquest cas acaba convergint en 0.19 kW de potència perduda cada any.

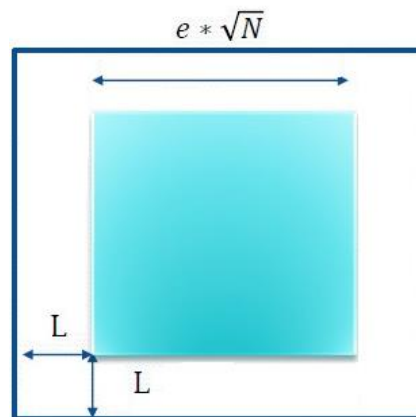


Figura 9: Longitud total necessària per al càlcul de la temperatura corregida del terreny.

Així doncs, es pot calcular la temperatura corregida del terreny a causa de la calor dissipada o acumulada degut a la conducció tèrmica al final del primer any de funcionament, que en aquest cas és 14.49°C.

I aquest valor s'utilitzarà per poder calcular el valor de la temperatura del terreny del segon any, sent així $T_{2,z} = T_{1,z,c} + T_{1,z,s} - T_{1,z,w}$, el qual es torna a veure corregit per la calor dissipada o assolida degut a la conducció.

Per conseqüència, aquest procés es repeteix tantes vegades fins que al final la temperatura convergeix o s'arriba a la màxima vida útil estimada de l'equip que generalment sol ser de 30 anys.



Figura 10: Gràfic on es mostra l'augment de temperatura del terreny en el pas dels anys.

Com es pot apreciar al gràfic, l'augment durant els 30 anys del càlcul de la instal·lació ha suposat un increment de temperatura al terreny de 0.06°C.

Finalment, amb la temperatura de convergència es tornen a calcular les longituds dels sondejos amb la fórmules de $L_{calefacció}$ i $L_{refrigeració}$ amb les dades de T_o corregides.

$$L_{calefacció} = \dot{Q}_{disseny calefacció} * \left[\frac{\frac{(HCOP-1)}{HCOP} * (Rt + RsF_{calef})}{T_{min}(z) - T_{med aigua,min}} \right] = 433.27m$$

$$L_{refrigeració} = \dot{Q}_{disseny refrigeració} * \left[\frac{\frac{(CCOP-1)}{CCOP} * (Rt + RsF_{refri})}{T_{med aigua,max} - T_{max}(z)} \right] = 570.36m$$

Un cop obtingudes aquestes profunditats, es divideix el valor entre dos, ja que el tub ha de ser la distància del recorregut d'anada i de tornada, per la qual cosa, es veu reduïda la meitat.

A partir d'aquí, si les noves profunditats dels sondejos no varien en més/menys un 15% podem considerar que les variacions de temperatura del terreny no afectaran de forma significativa en el funcionament de la bomba de calor.

En aquest cas i després d'haver realitzat tots els càlculs, s'obté que per a calefacció calen 2 tubs amb una profunditat total de 108.32 metres, i per a refrigeració són necessaris 3 amb una profunditat total de 95.1 metres. Tal com s'ha esmentat amb anterioritat, l'elecció del nombre de tubs i en conseqüència la profunditat total bé donada pel mínim nombre de tubs necessaris possibles, que en aquest cas són 2 tubs i una profunditat de 108.32 metres.

Així doncs, aquesta nova profunditat representa un 1.11% amb valor negatiu de variació amb la profunditat calculada anteriorment sense la t_0 corregida. Al no superar el més/menys 15 % es pot afirmar que la instal·lació està dimensionada correctament.

4. Disseny de la instal·lació d'energia solar fotovoltaica.

4.1. Estudi energètic de la instal·lació.

4.1.1. Les necessitats segons el sol.

Un cop determinades quines són les necessitats de les quals disposa l'edifici, tal com ha estat explicat a l'apartat 2.5.2. d'aquest document, i abans de mirar cap material, s'ha de saber quines són les "capacitats" solars de les que disposa l'edifici.

Per això, es realitzen diversos estudis, els quals veurem a continuació per tal de determinar quina és la radiació solar màxima que rep l'edifici.

El primer pas és determinar en quina zona climàtica és troba la localitat de Molins de rei, i això es pot trobar en el *Codi tècnic de la edificació (CTE DB-HE zonificación climática en función de la radiación solar global medi adiaría anual)*. Així doncs, segons el document oficial Molins de rei es troba en una zona climàtica II.

També s'han de tenir en compte diversos factors, com són la latitud, la qual, Molins de rei es troba a una latitud 41° , a més de conèixer el grau d'inclinació òptim que hauran de tindre els panells solars i l'orientació dels mòduls. Aquests dos últims termes es calculen segons el diagrama de pèrdues per inclinació i orientació on es pot apreciar quina és la inclinació òptima per als panells segons l'orientació de la qual es disposa.

Com s'ha citat anteriorment, l'edifici es troba orientat a 206° Sud/Oest. Tenint en compte que el punt màxim de radiació és al Sud (180°), això diu que té una orientació $\sim +30^\circ$ al Sud. A partir d'aquí es mira el grau d'inclinació òptim dels panells segons el diagrama.

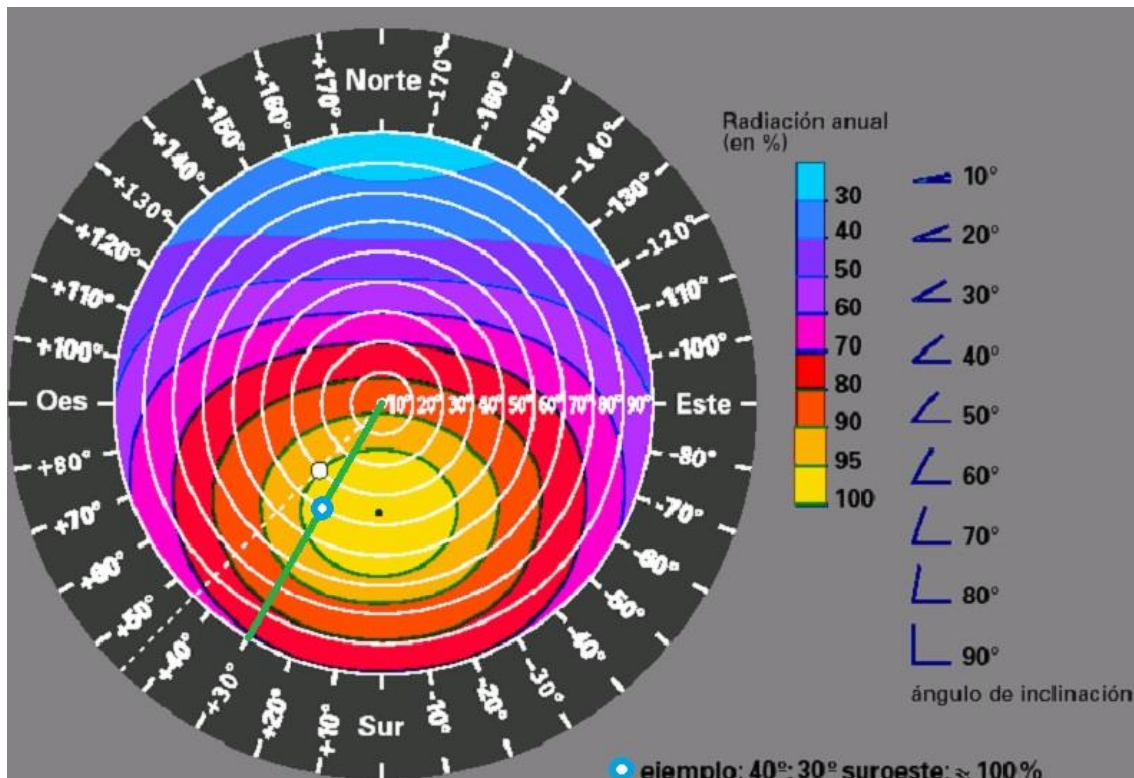


Figura 11: Diagrama pèrdues per inclinació orientació.

Ara ja se sap, gràcies al diagrama, que la inclinació òptima dels panells per a +30° al Sud/Oest és de 40°.

A continuació s'ha de saber la radiació que influirà a cada panell segons la configuració obtinguda. Això es consulta en les taules extretes del *Atlas de radiació solar a Catalunya* generades per la *Universitat politècnica de Catalunya* en col·laboració a *Institut Català d'energia*.

Per a la realització de tot l'estudi s'ha creat una eina amb el software Excel que ens servirà de calculadora solar i on s'aniran aportant diversos valors y formules per tal d'arribar a una configuració total de la instal·lació el més automatitzada possible.

Per la qual cosa, en l'eina Excel s'ha introduït totes les taules de radiació solar a Catalunya per tal de poder fer una recerca molt més fàcil i intuïtiva, i la manera d'utilització a estat seleccionant l'àrea de Barcelona per a una orientació de 30° i com la instal·lació serà fixa durant tot l'any hem seleccionat l'opció *Anual*.

CATALUNYA

BARCELONA	0º	BARCELONA	30º	BARCELONA	60º	BARCELONA	90º
INCLINACIÓ		INCLINACIÓ	40º [10]	INCLINACIÓ		INCLINACIÓ	
MES		MES	10	MES		MES	
		14. Anual	14				
	0		17,25		0		0

TARRAGONA	0º	TARRAGONA	30º	TARRAGONA	60º	TARRAGONA	90º
INCLINACIÓ		INCLINACIÓ		INCLINACIÓ		INCLINACIÓ	
MES		MES		MES		MES	
	0		0		0		0

LLEIDA	0º	LLEIDA	30º	LLEIDA	60º	LLEIDA	90º
INCLINACIÓ		INCLINACIÓ		INCLINACIÓ		INCLINACIÓ	
MES		MES		MES		MES	
	0		0		0		0

GIRONA	0º	GIRONA	30º	GIRONA	60º	GIRONA	90º
INCLINACIÓ		INCLINACIÓ		INCLINACIÓ		INCLINACIÓ	
MES		MES		MES		MES	
	0		0		0		0

| RADIACIÓ | 17,25 | | | | | | | | | | | | | | |

Taula 7: Radiació solar segons orientació i inclinació.

Per conseqüència, la radiació solar que incidirà en els panells segons la configuració serà de $17.25 \text{ MJ} \cdot \text{m}^2/\text{dia}$.

A partir d'aquí s'ha de tindre en compte que la radiació solar total no serà la descrita per les taules degut a que influeixen diversos factors que fan variar la radiació. Aquests factors seran les pèrdues per regulador, les pèrdues per l'inversor i les pèrdues per ombres.

Aquestes pèrdues es produeixen degut a que els equips elèctrics en combinació amb el sol, i conseqüentment, un augment de temperatura, disminueixen la seva efectivitat i per tant, es necessita més temps de radiació per poder cobrir aquestes pèrdues i arribar a l'objectiu de les necessitats.

Així doncs, es determina un 5% de pèrdues per l'inversor, un 5% de pèrdues pel regulador i un 5% de pèrdues per ombres, segons la següent formula:

$$\text{Radiació real} = \frac{\text{Radiació segons taules}}{\text{Pèrdues inversor} + \text{pèrdues regulador} + \text{pèrdues ombres}}$$

Obtenint així una radiació corregida o real de $18.11 \text{ MJ} \cdot \text{m}^2/\text{dia}$.

Ara, després d'aplicar la correcció per les pèrdues i obtenir la radiació corregida, el següent pas és calcular les hores pic. S'anomena hores pic o HPS al nombre d'hores equivalent que hauria de brillar el sol a una intensitat de $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ per obtenir la insolació total d'un dia.

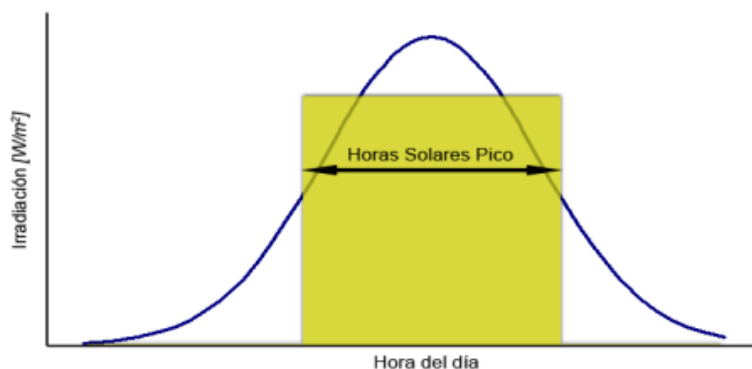


Figura 12: Gràfic tipus d'hores solars pic o HSP.

Per obtenir les hores pic (HSP) s'utilitza les següents fórmules:

$$1 \text{ HSP} = \frac{1000 \text{ W} * 1\text{h}}{\text{m}^2} * \frac{3600 \text{ s}}{1\text{h}} * \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} = 3.6 \text{ MJ/m}^2$$

$$\text{Hores Pic (HSP)} = \frac{\text{Radiació real}}{3.6 \text{ MJ/m}^2}$$

Finalment, després d'haver aplicat les fórmules anteriors en l'eina de càlcul s'ha pogut extreure que les hores solars pic són 5.07h d'irradiància a 1000W/m².

A continuació s'observa una taula on es mostren les dades que s'han utilitzat i els resultats obtinguts al fer servir l'eina d'Excel.

PERDUES PER INVERSOR	5%
PERDUES PER REGULADOR	5%
PERDUES PER OMBRES	95%
RADIACIÓ REAL	18,11 MJ*m2/dia
HORES PIC	5,03 Hores

Taula 8: Càlcul de radiació real i d'HSP amb l'eina Excel.

4.2. Elecció dels panells solars.

Ara que ja es tenen descrites les necessitats de l'edifici com les necessitats segons el sol, el següent pas és calcular quin serà el panell solar que millor s'adaptarà a les necessitats i el nombre total de panells, a més de com serà la connexió entre ells.

Després d'haver comparat entre una àmplia varietat de panells solars, s'ha decidit utilitzar un de la marca *SUNMODULE* model *PLUS SW 300* de composició

monocristal·lina, capaç de produir 300 watts pic. A continuació es mostrarà les seves característiques:

MODEL	WATS PIC	V _{mpp} [V]	I _{mpp} [A]	V _{co} [V]	I _{sc} [A]
SUNMODULE PLUS SW 300 MONO	300	32,6	9,31	40	9,83

Taula 9: Taula amb les característiques tècniques del panell solar fotovoltaic.

El següent pas a seguir és decidir si el regulador serà un regulador amb punt de màxima potència o no.

Els reguladors de punt de màxima potència o també anomenats MPPT són un tipus de reguladors els quals busquen maximitzar la potència i així treballar a tensions més elevades sota qualsevol condició.

La diferència entre col·locar un regulador amb punt de màxima potència o un normal serà depenent de les condicions tant solars com locals i de l'elecció del panell fotovoltaic que determinaran l'elecció del regulador.

Per tal de determinar la potència que generaran cada col·lector, dependrà del tipus de panell solar i de si admet o no MPPT. Això es calcula amb les següents fórmules:

$$\text{Si MPPT} \rightarrow NO = (I_{mpp} * I_{sc}) * HSP$$

$$\text{Si MPPT} \rightarrow SI = Watts Pic * HSP$$

En aquest cas, i gràcies al fet de que el panell solar escollit sí que admet un regulador amb de punt de màxima potència (MPPT), cada panell serà capaç de produir 1509.38 W/m².

$$Energia generada = 300 W * 5.03h = 1509.38 Wh$$

Ara ja es té totes les dades necessàries per poder saber quants panells fotovoltaics calen per a cobrir les necessitats. Per poder establir quants col·lectors seran necessaris utilitzarem la següent fórmula:

$$N^{\circ} \text{ Panells FV} = \frac{\text{Necessitats} * N^{\circ} \text{ dies}}{\text{HSP} * \text{Potencia Panell FV}}$$
$$N^{\circ} \text{ Panells FV} = \frac{65570 \text{ Wh/dia} * \frac{7 \text{ dies}}{7 \text{ dies}}}{5.03 \text{ hores} * 300 \text{ W}} = 43.44$$

Així doncs, i segons les dades s'obté que el número de panells solars fotovoltaics mínims necessaris per a cobrir les necessitats de l'edifici serà de 43.44 col·lectors segons fórmula matemàtica.

Finalment es decideix crear un camp solar amb un total de 45 col·lectors per tal de poder establir la millor configuració possible i seguint complint amb les necessitats mínimes de l'edifici.

A partir d'aquest moment, que ja es té constància del número de panells solars fotovoltaics necessaris per a garantir les necessitats establertes, s'ha de decidir la seva configuració més òptima, tenint en compte si les dimensions de les quals disposem a la teulada permeten instal·lar dita configuració.

A l'hora de determinar quina serà la millor configuració per al camp solar s'ha de saber prèviament quines són les possibilitats de les que es disposen.

Per connectar una sèrie de col·lectors solars fotovoltaics entre si hi ha tres opcions diferents, en sèrie, en paral·lel i en configuració mixta.

- Connexió en sèrie: La connexió en sèrie es realitza en panells solars amb potències de més de 200W i per a ús en instal·lacions solars de 24V o 48V. Mitjançant la connexió en sèrie es connecten directament les plaques solars entre si, connectant el pol positiu d'un panell amb el pol negatiu del següent

panell. A diferència de la connexió en paral·lel, es manté la intensitat i se suma el voltatge

- Connexió en paral·lel: La connexió en paral·lel es realitza connectant d'una banda tots els pols positius de les plaques de la instal·lació solar, i per l'altre, connectant tots els pols negatius. D'aquesta forma, es manté el voltatge o tensió (volts) de les plaques solars mentre que se sumen les intensitats (Ampers).
- Connexió mixta: La connexió mixta en sèrie i paral·lel es sol utilitzar habitualment en instal·lacions solars on es connectin 5 o més plaques solars de potència superior a 200W, ja que permet obtenir un voltatge no massa alt i a la vegada, permet multiplicar l'amperatge total de la instal·lació. D'aquesta manera, gràcies a aquesta connexió, s'augmenta tant el voltatge com la intensitat, la qual posteriorment el regulador MPPT adaptarà a les característiques de les bateries.

Així doncs, per a aquesta instal·lació solar s'ha decidit que la millor manera de connectar els panells solars és utilitzant una connexió mixta, la qual estarà composta per cinc grups connectats en paral·lel i on cada grup contindrà nou panells connectats en sèrie entre si. Així s'aconsegueix un camp solar de 1500 W amb una tensió de 360 V i una intensitat total de 49.15 Ampers.

NUMERO DE PLAQUES EN SERIE	9
----------------------------	---

NUMERO DE GRUPS EN PARAL·LEL	5
------------------------------	---

Nº DE GRUPS	Nº PLAQUES X GRUP	V	A	W
5	9	360	49,15	1500
0	0	0	0	0

Taula 10: Taula amb les característiques del camp de panells solars fotovoltaics.

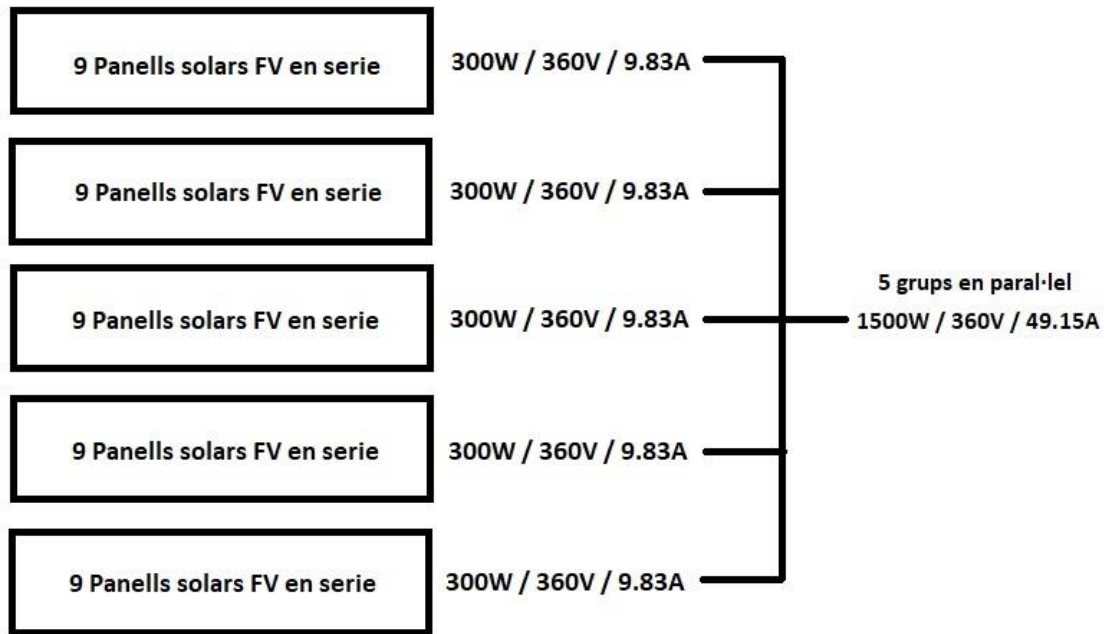


Figura 13: Esquema de la connexió tipus mixta del camp solar.

Ara, un dels càlculs utilitzats necessaris és la distància mínima entre panells descrit de la següent manera:

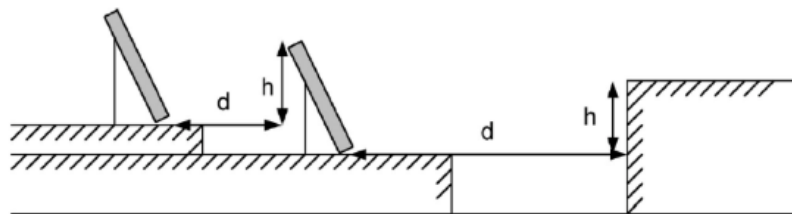


Figura 14: Mínima distància de muntatges dels panells per evitar ombrejats.

On la distància “d” es calcula de la següent manera:

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} = k * h$$

On:

- H és la altura, realitzada amb Pitàgores.
- K és $\frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})}$

Aleshores, per valor "K" s'obté un resultat de 2.75 i per valor "H" s'obté un resultat de 1,283 metres. Així doncs, la distància que conforma el panell més la seva ombra és de 3,525 metres.

Finalment, la distància necessària per al camp de panells solars és de 15.3 metres, apte per la teulada.

4.3. Elecció de les bateries

Per a l'elecció de les bateries és important tenir en compte alguns factors per tal de poder escollir la manera més adient de poder emmagatzemar tota l'energia que han produït els panells solars i que siguin capaces d'estar a l'espera de la demanda així com de complir totes les necessitats de les quals estan previstes.

Arribats fins aquí sabent que es compta amb unes necessitats de 65570 Wh/dia, però, i degut a la localització de l'edifici, la localitat de Molins de rei, per mitjana estadística dels últims 10 anys, compta amb un període mensual (més desfavorable) de quatre dies envolats. Per aquesta raó, s'estima que les bateries han de ser capaces d'emmagatzemar la quantitat suficient d'energia com per poder abastir a l'edifici durant quatre dies consecutius. Això és el mateix que dir que durant quatre dies els panells solars no produiran cap tipus d'energia.

També s'ha de tindre en compte un factor molt important com és la profunditat de descàrrega de la bateria. Aquest factor és el percentatge de la capacitat total de la bateria que s'utilitza durant un cicle de càrrega o descarrega.

En aquest tema es pot diferenciar dos tipus de descàrregues de bateries, com són:

- Descàrregues superficials: Són descàrregues d'aproximadament el 20% de la capacitat nominal de la bateria.
- Descàrregues profundes: Són descàrregues d'aproximadament el 60 o 80% de la capacitat nominal de la bateria.

Normalment en instal·lacions solars fotovoltaïques de caràcter aïllat, com és el cas, es solen utilitzar les bateries estacionàries, les quals estan preparades per descàrregues profundes degut a que aquestes instal·lacions han de garantir el consum durant una sèrie de dies consecutius.

Per altra banda també s'ha de remarcar que com més gran és la profunditat de descàrrega que s'ha l'hi aplica a la bateria durant cada cicle, disminueix considerablement el número de cicles que pot admetre, determinant així la vida de la bateria.

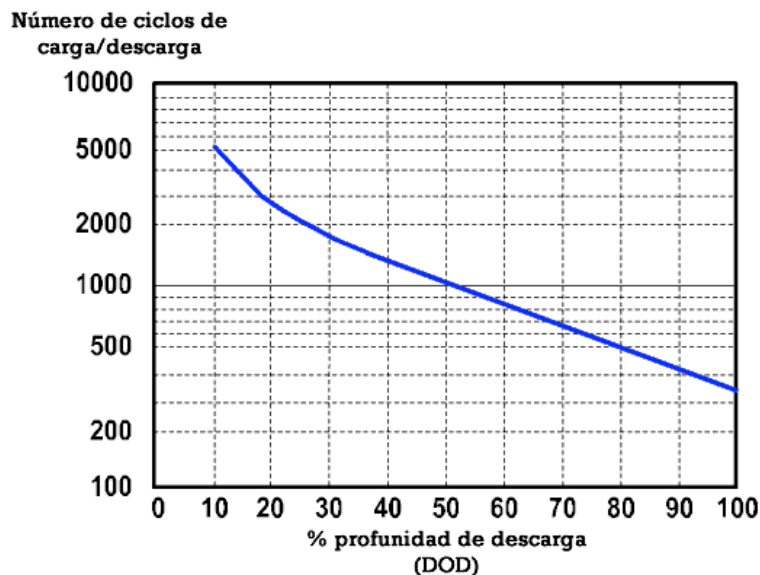


Figura 15: Gràfic on es mostra el número de cicles de la bateria segons la profunditat de descàrrega.

També es pot distingir entre dos tipus de bateries com són les de plom àcid o les de gel.

- **Bateries de plom àcid:** Aquest tipus de bateries suporten una profunditat de descàrrega més baixa que les de gel, el seu període de vida és més curt amb la conseqüència de què han de rebre un manteniment i que aquest líquid que conté a l'interior pot ser perjudicial. A més segons normativa s'ha de crear un recinte amb ventilació inferior per possibles emanacions de gasos tòxics. Per contra suporten tensions molt més elevades que les de gel.

- Bateries de gel: Aquestes bateries són molt cotitzades i han creat un augment del seu consum degut a que proporcionen una vida útil molt més llarga que les anteriors, garantint-ne un elevat nombre de cicles de càrregues i descàrregues i es redueix el % d'evaporació de l'element que conté a l'interior. A més permeten grans profunditats de descàrrega i no requereixen manteniment. Per contra suporten tensions molt més baixes que les de plom àcid.

També s'ha de tindre en compte quina capacitat tindrà la bateria, ja que quan es parla de capacitat es refereix als ampers hora que es poden extreure de la bateria mentre que el règim de descàrrega sigui tal que impliqui la descàrrega total en un temps determinat.

A partir d'aquí i amb aquesta informació s'ha d'escollir la bateria adequada per a poder emmagatzemat tota l'energia que es necessitarà. Així doncs, per saber quina serà la capacitat que haurà de tindre el grup de bateries s'han de tenir en compte les necessitats, el nombre de dies d'autonomia dels que voldrem disposar, la profunditat de descàrrega que s'està disposat a assolir depenent del tipus de bateria que s'elegeix i el voltatge a la qual es connectaran. Per això, existeix una fórmula on es pot determinar aquesta variable.

$$\text{Capacitat Bateria (Ah)} = \frac{\text{Necessitats} * \text{Dies d'autonomia}}{\text{Profunditat descàrrega} * V}$$

$$\text{Capacitat bateria (Ah)} = \frac{65570 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} * 4 \text{ dies}}{0.8 * 24V} = 13660.42 \text{ Ah}$$

Ara que es té establert el nombre d'ampers hora que calen per poder cobrir totes les necessitats s'ha d'escollir les bateries i la seva configuració.

Després d'haver comparat entre un ampli catàleg de bateries, s'ha decidit utilitzar una bateria de gel de capacitat C120 que proporciona 3900 Ah i que té una tensió de 2V.

MODELO	TENSIÓN	CAPACIDAD C100 (Ah)	CAPACIDAD C120 (Ah)
SMG/S 3900	2	0	3900

Taula 11: Taula de la bateria SMG/s 3900 utilitzada per al càlcul de la instal·lació.

A partir d'aquí, on ja se sap quina és la capacitat d'ampers hora que necessitem i quines són les bateries que s'utilitzaran, s'ha de configurar el sistema de connexions de les bateries.

Ja que les bateries són de vasos de 2V i estan configurades per connectar-les fins a 24V que és la tensió del camp, s'ha decidit formar quatre grups de dotze vasos de 2V cadascú, proporcionant així un total de 15600Ah, suficients per cobrir totes les necessitats i tenint un marge de seguretat.

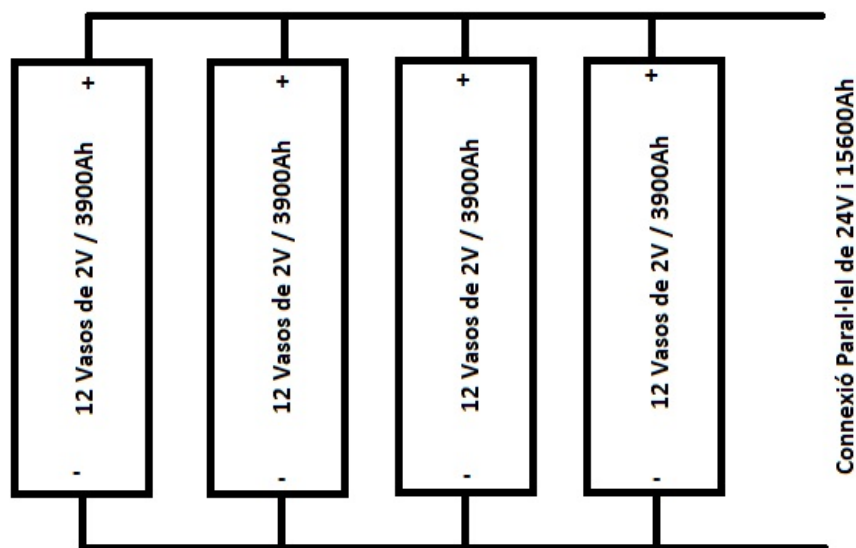


Figura 16: Esquema de connexió mixta del conjunt de bateries proporcionant 24 V i 15600Ah.

4.4. Elecció dels reguladors.

La funció del regulador és la de controlar constantment l'estat de la càrrega de les bateries, així com la de regular la intensitat de càrrega amb el fi d'allargar la via útil

de les bateries. A més, controla l'entrada de corrent provinent dels panells solars i evita que es produeixin sobrecarregues o bé subcàrregues a les bateries.

Com ja s'ha comentat amb anterioritat, el regulador que es compta és un amb punt de màxima potència o també anomenat MPPT per tal de poder proporcionar el màxim de potència.

També s'ha de tenir en compte que l'elecció del regulador vindrà determinada per la intensitat total del camp solar. A més aquesta intensitat total del camp se l'hi haurà d'afegir un factor de seguretat per tal d'evitar sobretensions a la línia elèctrica amb la conseqüència de què es puguin fer malbé els dispositius elèctrics.

Per tant, la intensitat total del camp és de 49.15A, i se l'hi aplica un factor de seguretat del 30%. Així doncs, finalment s'obté que el regulador ha de ser capaç de suportar una intensitat més gran de 63.69A.

Després d'haver realitzat una àmplia recerca entre diversos catàlegs i proveïdors, s'ha optat per utilitzar un regulador amb MPPT capaç de suportar 80A i amb possibilitat de connexió a 24V.

MODEL	VOLTATGE	A
studer MPPT serie vario track 80	12-24-48	80

Taula 12: Taula amb els valors de regulador Studer MPPT serie vario track 80.

4.5. Elecció dels inversors.

Aquest apartat es centrarà en l'elecció de l'inversor i de les característiques que ha de complir per tal que sigui adient per a la instal·lació. Però, primerament s'ha de saber de quin element es tracta i quina és la seva funció.

Així que, un inversor és un dispositiu que s'encarrega de transformar el voltatge de 12/24/48 Volts d'un sistema de bateries al voltatge que necessita l'habitatge per al seu consum, que en aquest cas és 230V.

Ara que ja es té constància de com funciona i quina és la seva característica principal, s'ha de saber com dimensionar correctament l'inversor. Per això, es compta amb uns càlculs que s'han utilitzat en l'eina d'Excel i que es mostraran a continuació.

Primerament, per poder dimensionar l'inversor s'ha de tenir en compte que el dispositiu no podrà admetre la totalitat del consum de manera simultània, és a dir, si tots els elements de consum de màxima potència estan connectats a la vegada en un període de temps determinat, l'inversor no serà capaç de poder proporcionar la potència necessària per alimentar tots els aparells. Per altra banda, l'inversor també ha d'assegurar un mínim de potència per poder abastir a tots els dispositius elèctrics que consumeixen electricitat de manera passiva.

Així doncs, s'estableix una relació on l'inversor haurà d'assegurar uns mínims però, no podrà ser més elevat d'un determinat percentatge de simultaneïtat.

Per calcular la potència mínima que haurà de tenir l'inversor s'estimarà el consum total de watts de l'edifici i es dividirà entre dos.

$$Mínim = \frac{N^{\circ} \text{ total de watts}}{2} = \frac{117372 \text{ W}}{2} = 58686 \text{ W}$$

Per a calcular el màxim de potència que haurà de garantir l'inversor, s'ha de calcular el consum total del nostre edifici i aplicar-li un coeficient de simultaneïtat. Com ja hem aplicat abans, el coeficient de simultaneïtat ens està dient el percentatge d'equips elèctric que es poden connectar a la vegada a la instal·lació. Normalment va entre els 50 – 75%, i ja que aquest cas, la construcció no compta amb un sol habitatge, es considera el nivell més alt, és a dir, un 75% de coeficient de simultaneïtat. Així doncs, el màxim que haurà de complir l'inversor per no patir cap sobrecarrega serà de:

$$Màxim = \frac{N^{\circ} \text{ total de Watts}}{\text{coeficient de simultaneïtat}} = \frac{117372 \text{ W}}{0.75} = 88029 \text{ W}$$

Per tant, s'haurà de buscar un inversor que estigui en la mitjana dels dos valors cercats anteriorment. Per realitzar això s'haurà de considerar fer una interpolació per tal d'obtenir el valor esperat.

$$\text{mitja} = \left(\frac{\text{Màxim} - \text{Mínim}}{2} \right) + \text{mínim} = \left(\frac{88092 - 58686}{2} \right) + 58686 = 73357.5 \text{ W}$$

De tal manera que, els resultats queden de la següent forma:

58686	<	73357,5	<	88029
-------	---	---------	---	-------

Taula 13: Valors estimats amb els que haurà de complir el nostre regulador.

A partir d'aquí, i després de realitzar una àmplia recerca d'inversor en diversos distribuïdors, s'ha considerat realitzar una connexió en sèrie de 2 inversors, els quals, proporcionen cadascú d'ells 4500 Volt Ampers, és a dir, obtindrem un total de 9000 VA.

MODEL	VOLTATGE	VA
studer xtender XTH 5000	24	4500

Taula 14: Taula amb el model d'inversor Studer xtender XTH 5000.

4.6. Elecció i configuració del sistema elèctric.

Per a la configuració de totes les connexions elèctriques del camp solar fotovoltaic, primerament s'ha de tindre en compte una sèrie d'aspectes a l'hora de seleccionar els cables adients per a tota la instal·lació.

S'haurà de mesurar de manera aproximada totes les distàncies prèviament a la compra o realització de cap muntatge, per assegurar així que la configuració complirà amb els requisits i que no es produiran pèrdues innecessàries.

Degut a que en connexions elèctriques es produeixen pèrdues inevitables per efecte Joule, s'haurà de tindre en compte una sèrie de % de caiguda de la intensitat depenen de les connexions entre elements. Per calcular això es compte amb una taula on es mostren el % de caiguda respecte la distancia.

cable	longitud	%caiguda tensió admeses
panells Regulador	20	3%
Regulador- bateria	1,5	1%
Regulador-inversor	1,5	1%
Inversor-quadro connexions	10	3%

Taula 15: Taula on es mostra el % de caiguda respecte la distància de connexió entre els diversos dispositius.

Així doncs, com s'ha comentat amb anterioritat, es realitza una estimació el més aproximat possible de la distància de cada cable entre les connexions dels diversos dispositius elèctrics, tal com és mostra a continuació:

- Distància del camp fotovoltaic al regulador: 15 metres
- Distància del regulador a bateries: 2 metres
- Distància del regulador a l'inversor: 2 metres
- Distància de l'inversor al punt de consum: 22 metres

Per altra banda, també s'ha de tindre en copte la intensitat que haurà de suportar cada cable. Per això, s'haurà de determinar la mida de secció correcta per tal d'assegurar que el cable admetrà la intensitat que hi passarà per ell.

Per poder determinar si la secció de cable que s'ha escollit és l'adequada o no, es compta amb una taula on, depenent de la secció escollida i del número de fils interns del cable, podem obtenir la intensitat total que admet dit cable. D'aquesta manera es pot dimensionar amb més tranquil·litat i amb més eficiència la instal·lació.

Secció nominal del conductor (mm ²)	Un sol cable			Més d'un cable	
	Un cable unipolar	Un cable bipolar	Un cable tripolar	dos cables unifilars	de 3 a 5 cables unifilars
1,5	15	12	10	12	11
2,5	21	16	14	17	15
4	28	22	19	23	20
6	34	28	24	29	26
10	49	38	34	40	36
16	64	51	44	54	36
25	85	68	59	71	64
35	110	83	72	88	78
50	130	98	85	110	95
70	160	118	100	135	120
95	200	140	120	165	145
120	230			190	170

Taula 16: Taula on es mostra el nivell d'intensitat màxima que admet el cable segons el tipus de cable que és segons IDAE.

Per a calcular la secció mínima que haurà de tenir la instal·lació des de la sortida del camp fotovoltaic fins a l'arribada dels reguladors s'haurà de tindre en compte els metres necessaris de cable per a la seva connexió, la intensitat màxima que hi passaran per ells i la potència total dels panells que hauran de suportar. Així doncs, el mètode per poder calcular la secció mínima és el següent:

$$\text{Secció Camp FV} - \text{Regulador} = \frac{3.56 * \text{distancia(m)} * \text{Intensitat total (A)}}{3 * \text{Potència panells (V)}}$$

$$\text{Secció Camp FV} - \text{Regulador} = \frac{3.56 * 15\text{m} * 49.15\text{A}}{3 * 24\text{V}} = 36.45 \text{ mm}^2$$

Segons els càlculs, la secció mínima necessària que s'ha de tindre en compte a l'hora de dimensionar correctament la instal·lació ha de ser un cable de com a mínim 36.45 mm², no obstant el mínim que es pot utilitzar segons les taules serà de 50 mm² unifilar, capaç de suportar una intensitat màxima de 130A.

Per a calcular la secció mínima que haurà de tenir la instal·lació des de la sortida del regulador fins a l'arribada de les bateries, s'haurà de tindre en compte els metres necessaris de cable per a la seva connexió, la intensitat màxima que hi

passaran per ells i la potència total de les plaques que haurà de suportar. Així doncs, el mètode per poder calcular la secció mínima és el següent:

$$\text{Regulador} - \text{Bateries} = \frac{3.56 * \text{distancia}(m) * \text{Intensitat total (A)}}{\text{Potència panells (V)}}$$

$$\text{Regulador} - \text{Bateries} = \frac{3.56 * 2m * 49.15A}{24V} = 14.58 \text{ mm}^2$$

Segons els càlculs, la secció mínima que s'ha de tindre en compte a l'hora de dimensionar correctament la instal·lació ha de ser un cable de com a mínim 14.58 mm², no obstant el mínim que es pot utilitzar segons les taules serà de 25 mm² unifilar, capaç de suportar una intensitat màxima de 85A.

Per a calcular la secció mínima que haurà de tenir la instal·lació des de la sortida del regulador fins a l'arribada de l'inversor, s'haurà de tindre en compte els metres necessaris de cable per a la seva connexió, la intensitat màxima que hi passaran per ells i la potència total dels panells que haurà de suportar. Així doncs, el mètode per poder calcular la secció mínima és el següent:

$$\text{Regulador} - \text{Inversor} = \frac{3.56 * \text{distancia}(m) * \text{Intensitat total (A)}}{\text{Potència panells (V)}}$$

$$\text{Regulador} - \text{Inversor} = \frac{3.56 * 2m * 49.15A}{24V} = 14.58 \text{ mm}^2$$

Segons els nostres càlculs, la secció mínima que s'ha de tindre en compte a l'hora de dimensionar correctament l' instal·lació ha de ser un cable de com a mínim 14.58 mm², no obstant el mínim que es pot utilitzar segons les taules serà de 25 mm² unifilar, capaç de suportar una intensitat màxima de 85A.

Per a calcular la secció mínima que haurà de tenir la instal·lació des de la sortida de l'inversor fins a l'arribada del punt de consum, s'haurà de tindre en compte els metres necessaris de cable per a la seva connexió, que en aquest cas s'utilitzarà la

distància més desfavorable des de l'inversor fins al punt de consum més allunyat. També la intensitat màxima que hi passaran per ells i la potència total dels panells que haurà de suportar. Així doncs, el mètode per poder calcular la secció mínima és el següent:

$$Inversor - Punt de consum = \frac{3.56 * distancia(m) * \frac{1000}{230V}}{3 * 230V}$$

$$Regulador - Punt de consum = \frac{3.56 * 22m * \frac{1000}{230V}}{3 * 230V} = 0.49 mm^2$$

Segons els nostres càlculs, la secció mínima que s'ha de tindre en compte a l'hora de dimensionar correctament la instal·lació ha de ser un cable de com a mínim 0.49 mm², no obstant el mínim que es pot utilitzar segons normativa per a noves connexions serà de 2.5 mm² unifilar, capaç de suportar una intensitat màxima de 21A.

5. Disseny de la instal·lació d'energia eòlica.

5.1. Les necessitats per la demanda d'energia eòlica.

La raó principal pel que es decideix instal·lar un equip d'energia eòlica és per poder subministrar tota l'energia elèctrica que necessita l'edifici per tal de cobrir al 100% les necessitats elèctriques, que en aquest cas fa referència a la bomba de calor, ja que totes les altres estan cobertes gràcies al camp de panells solars fotovoltaics.

5.2. Classificació i característiques de les turbines eòliques.

Per a poder entendre una mica millor el concepte de turbina eòlica o mini aerogenerador es realitza una breu explicació d'aquests aparells distingint entre dos tipus, els d'eix horitzontal i els d'eix vertical.

Pel que fa a les turbines d'eix vertical es pot dir que són aerogeneradors d'eix paral·lel a la direcció del vent, a més, aquests tipus de turbina operen amb velocitats baixes de vent. Per contrabanda, aquests tipus de turbina ha d'estar subjectat tot en una torre i a més a més s'ha d'orientar cap a la direcció del vent.

En les turbines d'eix vertical, la peculiaritat és que l'eix és perpendicular a la velocitat del vent, i es pot distingir entre dos tipus, els anomenats *Daerrieus* i els *Savonius*. Com a característiques positives s'obté que no requereix de cap orientació prèvia a més de què tant la turbina com els accessoris els podem trobar a nivell del terra. Per altra banda, es necessita una sèrie de subjeccions per tal d'evitar que vacil·li, amb la característica de què són, en general, bastant menys eficients que els d'eix horitzontal.



Figura 17: Imatge on es veu una turbina d'eix horitzontal i d'eix vertical.

5.3. Principis bàsics de la conversió energètica.

L'energia cinètica d'una massa d'aire que es mou a una velocitat podem considerar-la amb l'equació fonamental de l'energia cinètica:

$$Ec = \frac{1}{2} * m_{aire} * c^2 \text{ expressat en (J, KJ)}$$

Per això es considera un rotor d'una secció transversal "A" sotmesa a una massa d'aire en moviment. L'energia cinètica disponible per la turbina del vent es pot substituir com $m_{aire} = \rho_{aire} * V_{aire}$.

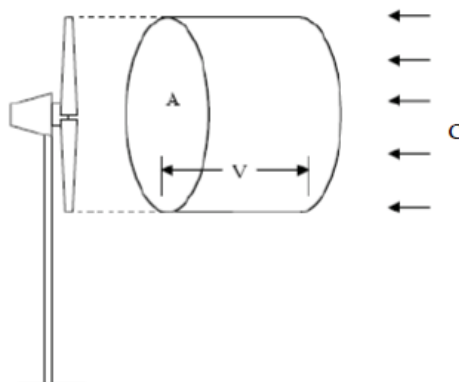


Figura 18: Imatge on es veu esquemàticament el volum que admet l'aerogenerador amb una velocitat determinada.

Per a determinar la potència que es pot generar gràcies al vent es pot dir que l'aire que interacciona amb el rotor per unitat de temps té una secció transversal idèntica a la del rotor (A_t) i un espessor igual a la de la velocitat del vent (c), per la qual cosa, l'energia per unitat de temps, que és la potència (W) es pot expressar de la següent manera:

$$\dot{W} = \frac{1}{2} * \rho_{\text{aire}} * A_t * C^3$$

A llavors aquí podem distingir els tres factors que determinen la disponibilitat del temps que són, la densitat de l'aire, que és influenciada per la temperatura, la pressió atmosfèrica i l'elevació, a més de l'aire, el qual, es pot considerar un gas ideal.

Degut a que la temperatura mitjana anual de la localitat és de 14.9°C i que es troba a 39 metres d'altitud respecte al nivell del mar, considerarem que la densitat de l'aire sigui la densitat estàndard a pressió atmosfèrica i a una temperatura de 15°C on el valor de dita densitat és de 1.225 kg/cm³.

Per altra banda, també s'ha de saber la velocitat mitjana de l'aire de la localitat per tal de poder completar les dades requerides per l'estudi. Així doncs, un cop buscat en la web estatal d'AEMET, s'obté que la mitjana de les ràfegues anuals a la localitat són de 37 km/h, que al canvi són 10.22 m/s.

A continuació s'ha de determinar la potència y el parell de la turbina, el qual es pot descriure com:

$$\dot{W}_m = \frac{1}{2} * \dot{m}_{\text{aire}} * (c_{\text{aire abans de passar pel rotor}}^2 - c_{\text{aire després de passar pel rotor}}^2)$$

On el cabal màssic de l'aire es pot calcular aproximadament amb la velocitat mitjana que travessa l'aire del rotor sabent que compleix la següent igualtat:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} * A_t * \frac{c_{\text{aire abans de passar pel rotor}} - c_{\text{aire després de passar pel rotor}}}{2}$$

Aleshores, es determina que per a la potència mecànica extreta del rotor, si la velocitat de l'aire abans de passar pel rotor és igual a la velocitat, i la velocitat de l'aire després de passar pel rotor és igual a la velocitat inicial, s'obté que:

$$\dot{W}_m = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A_t * c^3 * \frac{\left(1 + \frac{c_0}{c}\right) * \left(1 - \frac{c_0^2}{c^2}\right)}{2}$$

On a partir d'aquí apareix un concepte molt important que es denomina coeficient de potència del rotor o també anomenat eficiència del rotor, on es determina la fracció de potència del vent capturat pel rotor, el qual s'anomena C_p .

Per la qual cosa, per a una determinada velocitat del vent, el coeficient de potència depèn de la velocitat del vent abans i després del rotor. Obtenint així que C_p es pot descriure com:

$$C_p = \frac{2 * \dot{W}_m}{\rho_{aire} * A_t * c^3}$$

A partir d'aquí se sap que la potència generada pel rotor per a una determinada velocitat del vent depèn en gran part de la magnitud de la velocitat relativa entre les pales i el vent.

Per això, a la relació entre la velocitat de la punta de la pala i la velocitat del vent se la denomina λ o també anomenada TRS (Tip Speed Ratio), on la configuració per a calcular dita relació és dona de la següent manera:

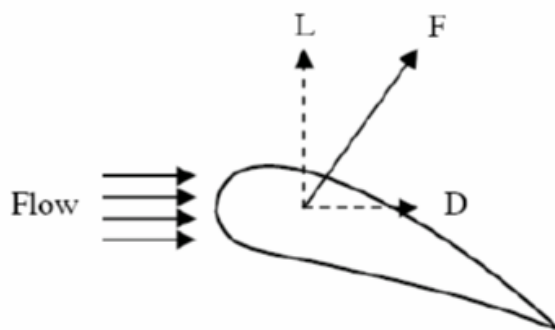
$$\lambda = \frac{R * \omega}{c} = \frac{\pi * N * R}{30 * c}$$

5.4. Aerodinàmica de les turbines.

En aquest apartat es parlarà sobre les característiques aerodinàmiques a les quals s'haurà de sotmetre les pales de la turbina per tal de poder extreure el màxim rendiment quan el vent passi per a cada pala.

Al principi, quan es van començar a construir els primers aerogeneradors, es van utilitzar teories generals utilitzades en l'aeronavegació, però, amb el pas del temps aquestes teories s'han anat modificant i amb conseqüència, millorant per poder aconseguir millors rendiments.

Primerament, s'ha de parlar de què existeixen dos tipus de forces que actuen sobre la pala del rotor degut al flux d'aire, una és la força de sustentació, la qual anomenarem "L", i l'altre és la força d'arrossegament, que l'anomenarem "D".



$$L = C_L * \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A_f * C^2$$

$$D = C_D * \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A_f * C^2$$

Figura 19: F_L i F_D en esquema aerodinàmic.

Aleshores, apareixen dos nous conceptes que són els coeficients de sustentació i d'arrossegament, també anomenats C_L i C_D .

A més, de tots aquests coneixements, també s'ha de tenir en compte un altre factor molt important que és l'anomenat angle d'atac, el qual ve definit per la direcció del vent sobre la corda.

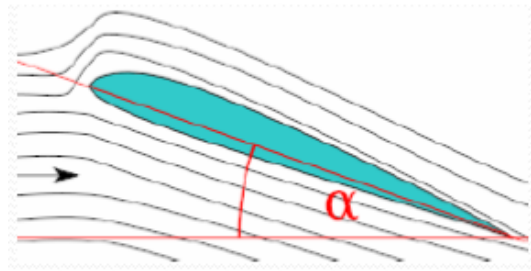


Figura 20: Angle d'atac d'un perfil alar.

Per tal de determinar quin és l'angle correcte que proporcionarà més rendiment es recorre a les gràfiques proporcionades per a cada perfil alar NAPA on es mostra l'angle pel qual s'aconsegueix la màxima sustentació.

Els coeficients abans nomenats s'obtenen per a diversos perfils alars en estudis realitzats en túnels de vent, on es mesuren les dues forces produïdes per a diferents angles d'atac.

Així doncs, l'angle adequat pel qual s'obtindrà més rendiment serà aquell que maximitzi el valor de L i minimitzi el valor de D , és a dir, que hi hagi la mínima relació entre C_D/C_L .

Un altre element que afecta a les forces d'arrossegament és el número de *Reynolds*, el qual és un factor adimensional que relaciona la força gravitacional amb la viscositat, per tant, es pot dir que *Reynolds* és la relació entre la velocitat per la longitud de la corda, i tot això, entre la viscositat cinemàtica del fluid, que en aquest cas considerarem l'aire a 20°C, γ és $15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ i per a una longitud de corda de 0.33 metres amb una velocitat de 7 0/s. Amb totes aquestes dades es considera que el número de *Reynolds* té un valor de $1.5 \cdot 10^5$.

En les turbines, la força motriu que fa girar l'eix és la força aerodinàmica degut a la resistència resultant F_D , que es calcula en funció del coeficient de resistència C_D i de la velocitat del vent respecte a la superfície del rotor. Així doncs, la potència mecànica extreta del vent i transmesa al rotor és el producte de la força total de la resistència, anomenat F_D , per la velocitat perifèrica equivalent de la superfície del rotor C_t en el punt d'aplicació de la força.

5.5. Disseny del rotor

Per a l'estudi del rotor es té en compte que la potència esperada \dot{W}_m en el punt de disseny és:

$$\dot{W}_m = \frac{1}{2} * C_{PD} * \mu d * \mu g * \rho a * A t * C_D^3$$

On:

- C_{PD} és el coeficient de potència de disseny del rotor que equival a uns valors entre 0.4 i 0.45.
- μd és l'eficiència del mecanisme de conversió.
- μg és l'eficiència del generador.
- C_D^3 és la velocitat de disseny del vent

A partir d'aquestes dades en podem extreure el radi que haurà de tindre el rotor, el qual es pot calcular de la següent manera:

$$R = \left(\frac{2 * \dot{W}_m}{C_{PD} * \mu d * \mu g * \rho a * \pi * C_D^3} \right)^{1/2}$$

Així doncs, també s'ha d'incloure un factor molt important i és que la relació entre el número de pales i la velocitat específica de disseny o també anomenada TSR bé marcada per una gràfica on es relacionen els dos conceptes.

5.6. Elecció del nostre aerogenerador.

Ara que ja se sap quin són els càlculs que s'han de realitzar per poder buscar un aerogenerador que compleixi amb els requisits de la demanda d'energia elèctrica que necessita l'edifici, només s'ha de realitzar els càlculs mostrats amb anterioritat amb les dades obtingudes.

Com bé s'ha dit al principi d'aquest punt, uns dels factors primordials per poder fer l'estudi és saber la velocitat mitjana del vent de manera anual que en aquest cas és de 10.28 m/s.

Com a densitat de l'aire s'ha escollit 1.225 kg/m³, ja que és l'estàndard utilitzat a pressió atmosfèrica i a una temperatura de 15°C.

La demanda d'energia que es vol cobrir és la de 190,7 kWh/dia, el qual, si ho dividim entre 24 hores que té un dia s'obté que la quantitat de potència mínima que es necessita és de 7.95 kW.

Potencia requerida por la bomba de calor

Consum kWh/any	Consum kWh/dia	Consum Wh/dia	Potencia (KW)
69626,95	190,76	190758,77	7,948281963

Taula 17: Taula on es mostren els factors de conversió d'energia a potència requerida.

També es considera que el rendiment del convertidor serà del 95% i que el rendiment elèctric obtindrà molt bons resultats, per tant es compte amb un 99% de rendiment. A més de comptar amb un valor de 0.45 en el coeficient de potència de disseny del rotor.

Un cop arribat aquí, amb les dades anteriors ja es pot realitzar el càlcul de la potència mínima necessària que haurà de generar l'aerogenerador. Així doncs, es realitza el següent càlcul:

$$\dot{W}_m = \frac{1}{2} * C_{PD} * \mu_d * \mu_g * \rho_{aire} * At * C_D^3$$

$$\dot{W}_m = \frac{1}{2} * 0.45 * 0.99 * 0.95 * 1.28 \left(\frac{m}{s}\right) * 75.4 m^2 * 1.225 \left(\frac{kg}{m^3}\right) = 21.22 kW$$

Ara ja se sap la potència mecànica requerida que ha de ser capaç de generar el nostre rotor. A continuació es calcula el radi mínim que ha de tindre per generar aquesta potència comptant amb què el rotor tindrà tres pales. S'utilitza la fórmula descrita en l'apartat anterior obtenint que:

$$Radi = \left(\frac{2 * 21.22 kW * 1000}{0.45 * 0.99 * 0.95 * 1.225 \left(\frac{kg}{m^3}\right) * (10.28)^3 \left(\frac{m}{s}\right) * \pi} \right)^{1/2} = 4.89 metres$$

Com l'aerogenerador haurà de tindre 3 pales es pot determinar la següent relació entre la velocitat de la punta de la pala i la velocitat del vent anomenada λ o també anomenat TRS (Tip Speed Ratio), que en aquest cas tindrà un valor de 4, tal com es mostra en el següent gràfic:

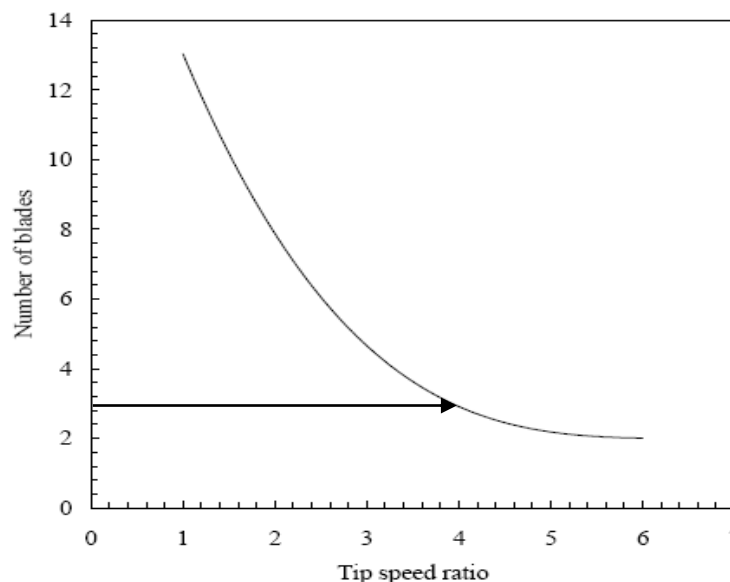


Figura 21: Gràfica TRS (Tip Speed Ratio).

Per últim, amb aquesta dada ja es pot saber el número de revolucions que haurà d'anar el rotor. Per tal de saber aquesta dada es calcula de la següent manera:

$$N = \frac{60 * 21.22kW * 3}{2 * \pi * 4.89 m} = 80.14 Rpm$$

Graciés a aquest estudi previ, s'ha trobat un aerogenerador dissenyat per poder cobrir demandes energètiques requerides. Per això la seva eficiència i el seu disseny permeten abastir a les instal·lacions de més de 200kWh al dia amb unes ràfegues de vent mínimes de 6 o 7 metres per segon. L'aerogenerador que consta de tres pales és de la marca *Enair* el qual, proporciona 20 kW de potència, les revolucions màximes a les que pot operar són de 120 Rpm, i el radi del rotor és de 4.9 metres.

Potència mecànica requerida (kW)	C _{PD}	Rendiment elèctric	Rendiment conversor	Velocitat del vent (m/s)	Àrea frontal (m ²)	Densitat aire (kg/m ³)
21,22005096	0,45	0,99	0,95	10,27778	75,4	1,225

Potència elèctrica (kW)
19,95745793

Radi del rotor (m)
4,899037193

->

Radi del nostre rotor (M)
4,9

N (rpm)
80,13456063

->

Rpm max admeses per l'aerogenerador
120

Taula 18: Taula on es mostren els nostres càlculs per la correcta elecció de l'aerogenerador amb comprovació de què l'aerogenerador escollit compleix amb les característiques requerides.

La instal·lació necessària per a poder connectar l'aerogenerador amb un sistema d'emmagatzematge d'energia serà proporcionat per a l'empresa subministradora de l'aerogenerador, ja que venen un kit amb el material que requereix la posada a punt de l'element.

6. Solució tècnica i alternatives.

6.1. Certificació energètica de l'edifici.

6.2. Impacte ambiental.

6.2.1. Disminució de la contaminació degut a la instal·lació d'energia solar.

Segons les estadístiques del govern, a Espanya, un habitatge tipus consumeix de mitja anual uns 3250 kWh d'electricitat. I si comptem en què aquesta energia que s'ha necessitat a estat produïda amb la crema de combustibles fòssils estem dient que s'han alliberat a l'atmosfera una quantitat de CO₂ per tal de poder produir aquesta energia elèctrica.

Aleshores, amb el camp d'energia solar instal·lat a l'edifici es pot estimar aproximadament l'estalvi de kilograms de CO₂ que no s'han alliberat a l'atmosfera gràcies a que no s'ha hagut de cremar cap combustible fòssil per al consum de l'electricitat de l'edifici.

Per tindre en compte aquest càlcul, s'ha utilitzat un element anomenat factor d'emissió, establert per l'IDAE on es crea una relació entre el kg de CO₂ equivalents amb el consum de kWh energètics.

Així doncs, aplicant el factor d'emissió (0.385) al consum total de kWh anuals per a un habitatge tipus surt que s'ha estalviat la quantitat de 1251.25 kg de CO₂ equivalents emesos a l'atmosfera.

6.2.2. Disminució de la contaminació degut a la instal·lació d'energia geotèrmica.

Segons les estadístiques del govern, a Espanya, un habitatge tipus consumeix de mitja anual uns 5050 kWh de gas natural. I si és té en compte que aquesta energia que s'ha necessitat per a produir aigua calenta sanitària o bé per a calefacció, ha estat produïda amb la crema de combustibles fòssils estem dient que s'han alliberat a l'atmosfera una quantitat de CO₂ per tal de poder produir aquesta energia elèctrica.

Aleshores, amb la instal·lació de la bomba de calor geotèrmica a l'edifici es pot estimar aproximadament l'estalvi de kilograms de CO₂ que no s'han alliberat a l'atmosfera gràcies a què no s'han hagut de cremar cap combustible fòssil per a poder produir les necessitats de les quals ha de preveure a l'edifici.

Per tindre en compte aquest càlcul, s'ha utilitzat un element anomenat factor d'emissió, establert per l'*IDAE* on es crea una relació entre el kg de CO₂ equivalents amb el consum de kWh energètics.

Així doncs, aplicant el factor d'emissió (0.2016) al consum total de kWh anuals per a un habitatge tipus surt que s'ha estalviat la quantitat de 10899.15 kg de CO₂ equivalents emesos a l'atmosfera, a més d'estalviar anualment la quantitat aproximada de 900€.

6.2.3. Disminució de la contaminació degut a la instal·lació d'energia eòlica.

Segons les estadístiques del govern, a Espanya, un habitatge tipus consumeix de mitja anual uns 2800 kWh d'electricitat degut a tindre instal·lat un calefactor de tipus elèctric. Aleshores, si comptem que aquesta energia que s'ha necessitat per a produir aigua calenta sanitària o bé per a calefacció, ha estat produïda amb la crema de combustibles fòssils estem dient que s'han alliberat a l'atmosfera una quantitat de CO₂ per tal de poder produir aquesta energia elèctrica.

Aleshores, amb la instal·lació de la bomba de calor geotèrmica a l'edifici es pot estimar aproximadament l'estalvi de kilograms de CO₂ que no s'han alliberat a l'atmosfera gràcies a que no s'ha hagut de cremar cap combustible fòssil per a poder produir les necessitats de les quals ha de preveure a l'edifici.

Per tindre en compte aquest càlcul, s'ha utilitzat un element anomenat factor d'emissió, establert per l'*IDAE* on es crea una relació entre el kg de CO₂ equivalents amb el consum de kWh energètics.

Així doncs, aplicant el factor d'emissió (0.385) al consum total de kWh anuals per a un habitatge tipus ens surt que s'ha estalviat la quantitat de 1078 kg de CO₂ equivalents emesos a l'atmosfera, a més d'estalviar anualment la quantitat equivalent a aquest consum.

6.3. Pressupost i amortiment.

6.3.1. Pressupost i amortiment de la instal·lació d'energia solar.

A l'hora de tindre en compte el pressupost de la instal·lació s'ha hagut de valorar diversos factors que faran variar el pressupost total de la instal·lació de tot el camp solar.

Per realitzar un primer pressupost de la manera més real i aproximada possible s'ha de tindre en compte alguns aspectes a l'hora del cost de la instal·lació i dels dispositius elèctrics.

Per començar, el preu de cost per unitat (cost de fabrica), s'ha d'aplicar-li el 21% d'IVA, per contrabanda, el proveïdor decideix fer una sèrie de descomptes degut a que se l'hi realitza tota la compra a ell, i aplica a cada element un 15% de descompte, a més a més d'un 5% de descompte en el transport de tot el material i per últim un 5% més de descompte per disposar de tot el material al magatzem.

També s'ha de tindre en compte que aquesta instal·lació l'hauran de realitzar gent qualificada a més de comptar amb ajudants. Al valor de preu de cost que hem obtingut abans se l'hi ha d'acabar sumant un 15% per a la mà d'obra de l'oficial i un 10% per a la mà d'obra de l'ajudant.

Finalment surt un pressupost total de la instal·lació amb la seva posada en marxa de 42.329,72 €.

Després realitzar l'amortització de tots els equips, s'obté que és recuperarà tota la inversió de la instal·lació aproximadament en 18 anys, tal com es pot apreciar en el gràfic següent:

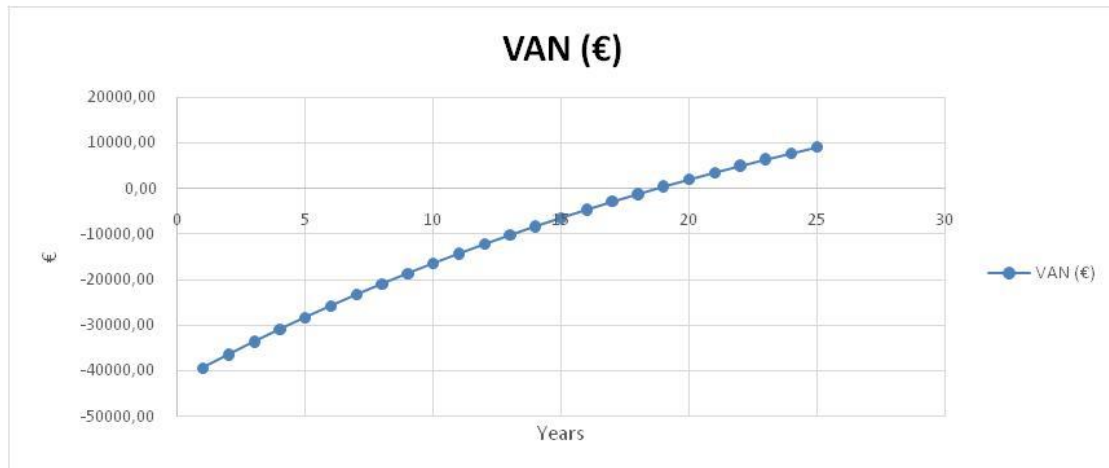


Figura 22: Gràfic on es mostra l'amortiment de la instal·lació d'energia solar.

6.3.2. Pressupost i amortiment de la instal·lació d'energia geotèrmica.

Per a poder realitzar un pressupost el més aproximat possible primerament s'ha de tindre en compte alguns factors importants abans de realitzar cap càlcul aproximat.

Suposem que el cost de la instal·lació per a l'equip de la bomba de calor geotèrmica serà el mateix cost que el d'un equip de les mateixes característiques de tipus convencional, és a dir, que funcioni amb gas natural. Així doncs, es suposa que el preu mitjà de la instal·lació de l'equip amb posada a punt és aproximadament d'uns 800€.

A més, també s'ha de tindre en compte el cost pels materials que aniran soterrats a més del cost de les perforacions necessàries per poder realitzar l'intercanvi de calor. Així doncs, s'aproxima el cost total en un 15€ per metre excavat amb el material inclòs. Aleshores, si es multiplica aquest preu pel número de metres totals necessaris, que en aquest cas són 433 metres, i a més se l'hi suma el cost de la instal·lació de la bomba de calor geotèrmica, el preu total del cost de la instal·lació és d'aproximadament uns 35857.5€.

Després realitzar l'amortització de l'equip, s'obté que és recuperat tot el cost de la instal·lació aproximadament en mig any, tal com es pot apreciar en el gràfic següent:

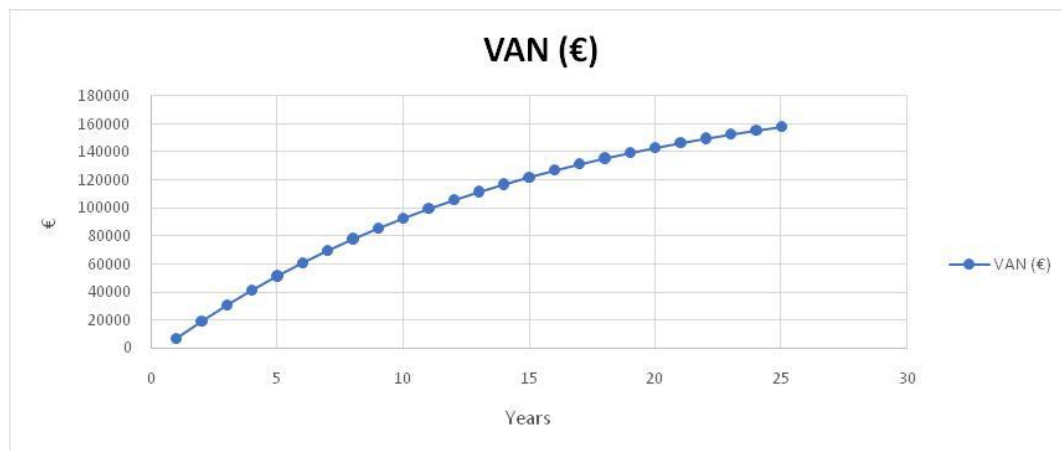


Figura 23: Gràfic on es mostra l'amortiment de la instal·lació d'energia geotèrmica.

6.3.3. Pressupost i amortiment de la instal·lació d'energia eòlica.

Per a poder realitzar un pressupost el més real possible, s'ha contactat amb el proveïdor del material, que en aquest cas és l'aerogenerador, i s'han pogut establir uns preus orientatius.

El cost de l'aerogenerador és de 58.750 €. A més a aquest preu se l'hi ha de sumar l'import de 5.000€, ja que es contractarà els serveis que ofereix l'empresa per a la instal·lació de tots els dispositius.

En el preu de la instal·lació també bé inclòs tot el material necessari per a la posada a punt a més del preu de mà d'obra.

Així doncs, el cost total de la instal·lació d'energia eòlica és de 63.750€

En la instal·lació s'aprofitarà la connexió del camp solar introduint un PLC que farà la funció de controlador de càrrega.

Després realitzar l'amortització de l'equip, s'obté que es recuperarà tota la inversió de la instal·lació aproximadament en 8 anys, tal com es pot apreciar en el gràfic següent:

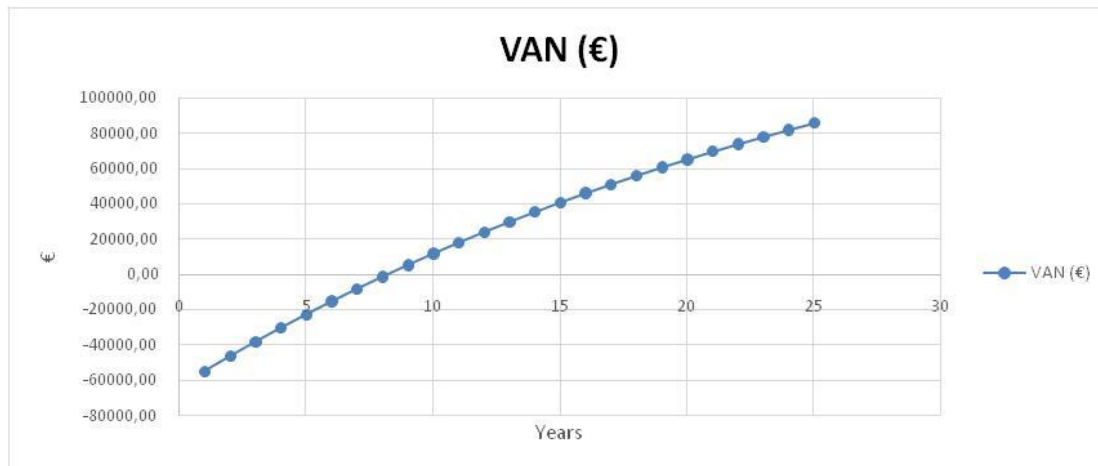


Figura 24: Gràfic on es mostra l'amortiment de la instal·lació d'energia eòlica.

6.3.4. Amortiment global del projecte

Finalment, el cost total de les inversions és de 141.937 €. Tenint en compte el sumatori de tots els fluxos de caixa de cada energia, s'obté un amortiment del conjunt de totes les instal·lacions de sis anys i mig.

A continuació es mostra un gràfic amb l'amortiment de tot el conjunt d'instal·lacions.

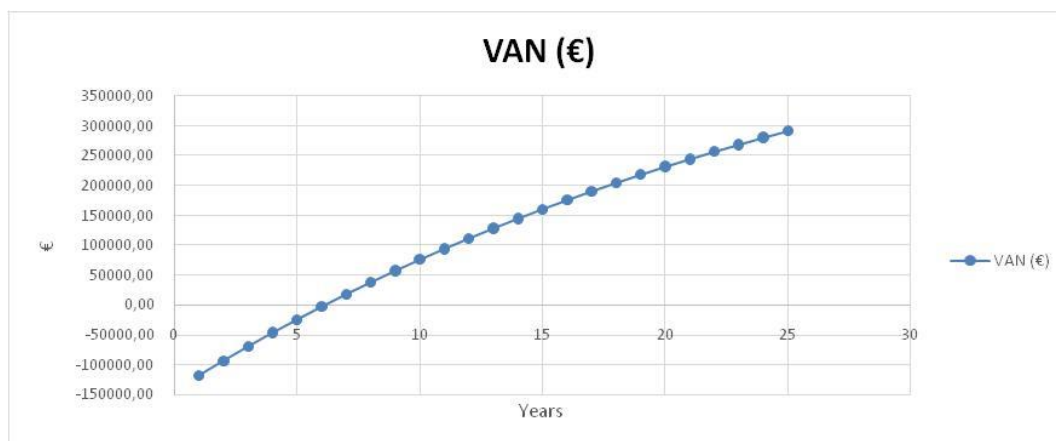


Figura 25: Gràfic on es mostra l'amortiment de tota la instal·lació renovable.

7. Conclusió

Després de realitzar aquest projecte s'ha extret la conclusió de què és possible abastir a tot un edifici de diversos habitatges únicament amb energies renovables. Tot i que la inversió inicial és molt elevada i potser és el handicap més important de tot el projecte, després d'haver realitzat les amortitzacions del conjunt de la instal·lació es pot extreure que és possible recuperar tota la inversió en poc més de sis anys.

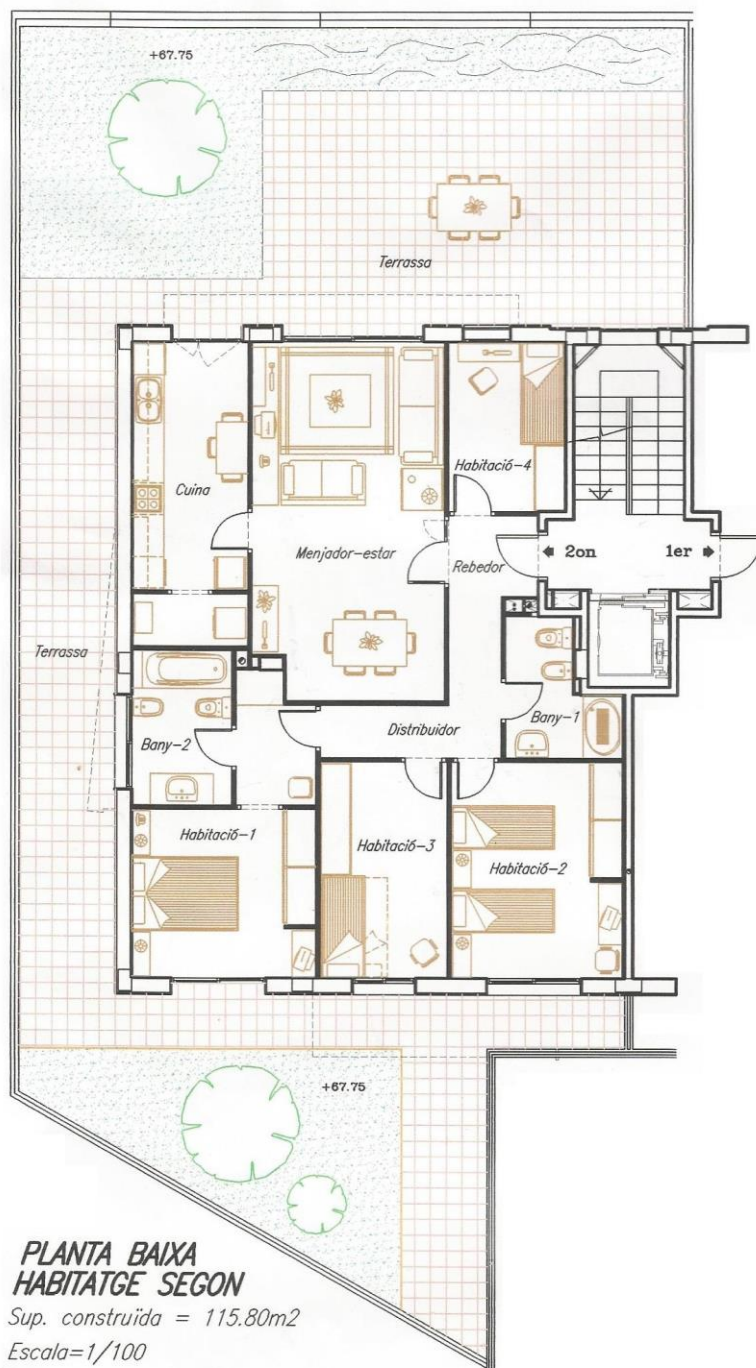
Gràcies als equips de captació d'energia instal·lats a l'edifici, com el d'energia geotèrmica, que és un dels més rendibles a l'hora de recuperar la inversió inicial, ajuda a recuperar una gran part de les altres inversions que són més a llarg termini, com per exemple, la instal·lació d'energia solar.

A més, amb la realització d'aquest projecte s'ha sigut capaç de poder aprofundir en els coneixements de la captació de dites energies. Com a conseqüència, es vol crear consciència i poder fer una crida a la població de què és possible un auto abastiment d'energies per a les necessitats bàsiques gràcies a les energies de caràcter renovables, promovent així un món molt més net, alliberant al planeta de gran part de la contaminació mundial.

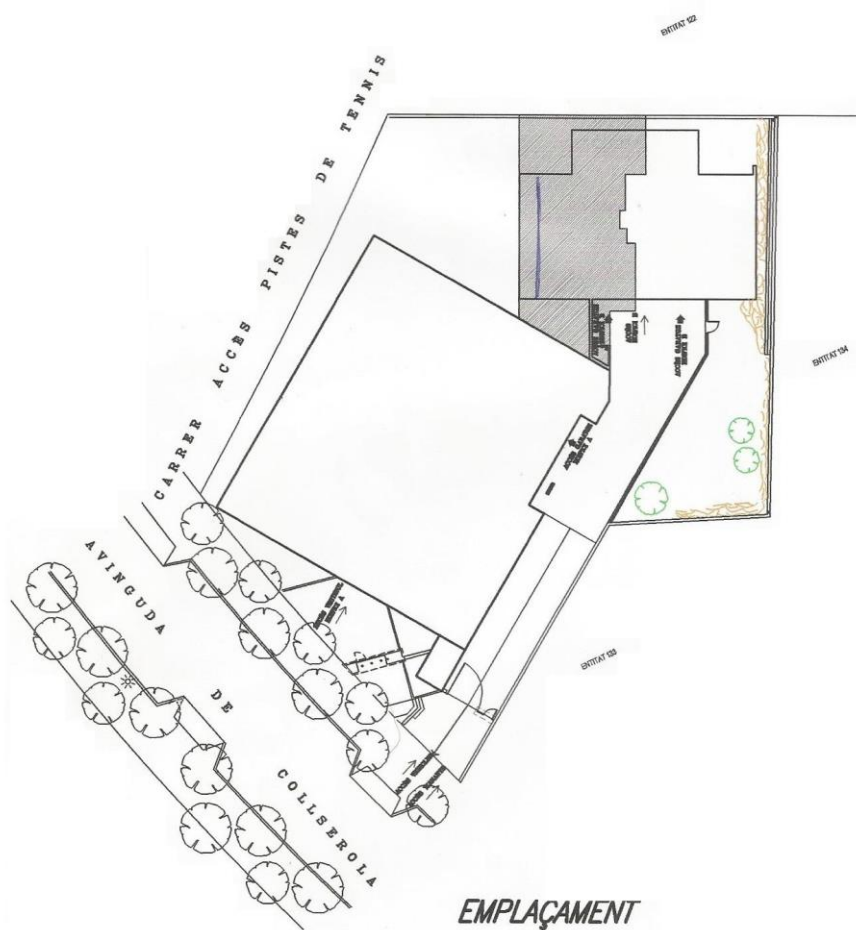
Per altra banda, i seguint amb la conscienciació de la població, amb aquest projecte també es vol crear en un futur una eina web capaç de poder recomanar a l'usuari de quines són les característiques que necessita saber a l'hora de poder instal·lar per compte pròpia un sistema de captació solar sense tenir prèviament cap coneixement tècnic.

8. Annexos.

8.1. Plànols



C/ Avinguda de Collserola, 4 (Parcel·la 135-b)
Riera Nova (MOLINS DE REI)

QUADRE DE SUPERFÍCIES

Menjador-estar	24.55m ²
Habitació-1	14.75m ²
Habitació-2	13.40m ²
Habitació-3	9.75m ²
Habitació-4	7.10m ²
Cuina	12.70m ²
Bany-1	5.60m ²
Bany-2	4.55m ²
Rebedor	2.60m ²
Distribuidor	5.50m ²
TOTAL SUP. ÚTIL =	100.50m²
Terrassa-Jardí	139.85m ²

9. Bibliografia

Electrocalculator.com. (2018).

Tabla con electrodomésticos y su consumo, por grupos. [online] Disponible a:

<http://www.electrocalculator.com/tabla-agrupada.php>

[Data d'accés: 3 Mar. 2018].

SunFields - Solar Fotovoltaica. (2018).

¿Cuál es el mejor panel solar del mundo? - Análisis y Resultado. [online] Disponible a:

<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/el-mejor-panel-solar-del-mundo/>

[Data d'accés: 7 Mar. 2018].

SunFields Europe - Distribuidor equipos fotovoltaicos. (2018).

Panel solar 300W - SolarWorld SW300 - Distribuidor Oficial. [online] Disponible a:

<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/solarworld/panel-solar-solarworld-sw-300/>

[Data d'accés: 7 Mar. 2018].

Sfe-solar.com. (2018).

[online] Disponible a:

https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2015/10/SolarWorld-SW290-300-Mono_EN.pdf

[Data d'accés: 7 Mar. 2018].

SunFields Europe. (2018).

Panel solar SHARP NU-RC300 (300W) - Distribuidor Oficial. [online] Disponible a:

<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/sharp/paneles-solares-sharp-nu-rc300/>

[Data d'accés: 7 Mar. 2018].

Sfe-solar.com. (2018).

[online] Disponible a:

https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2016/08/SHARP_NURC300W_Mono_EN.pdf

[Data d'accés: 7 Mar. 2018].

Scribd. (2018).

[01 Clase] El Sol, Azimut y Altura Solar. [online] Disponible a:

<https://es.scribd.com/doc/82315718/01-Clase-El-Sol-Azimut-y-Altura-Solar>

[Data d'accés: 14 Abr. 2018].

Grupoelektra.es. (2018).

[online] Disponible a:

<http://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>

[Data d'accés: 7 Jun. 2018].

Webosolar.com. (2018).

Seguidor Punto de Máxima Potencia (MPPT) | Foro técnico de Webo Solar. [online] Disponible a:

<http://www.webosolar.com/foro/controlador-carga-mppt-punto-maxima-potencia/>

[Data d'accés: 7 Jun. 2018].

¿Significado capacidad de batería en C100, C. and Insa, +. (2018).

¿Significado capacidad de batería en C100, C20 o C5?. [online] Monsolar. Disponible a:

<https://www.monsolar.com/blog/significado-capacidad-bateria-c100-c20-c5/>

[Data d'accés: 7 Jun. 2018].

Seriesolar.es. (2018).

[online] Disponible a:

<http://www.seriesolar.es/images/stories/fichatecnica/5-acumuladoresbaterias/1-FIAMM/FICHAS%20TECNICAS%20FIAMM%20LM.pdf>

[Data d'accés: 7 Jun. 2018].

Veolia España. (2018).

Energía geotérmica. [online] Disponible a:

<https://www.veolia.es/es/servicios/actividades/eficiencia-energetica/energia-geotermica>

[Data d'accés: 7 Jun. 2018].

¿Qué es la energía geotérmica? - Twenergy. (2018).

¿Qué es la energía geotérmica? - Twenergy. [online] Twenergy.com. Disponible a:

<https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-geotermica-que-aplicaciones-tiene-108>

[Data d'accés: 7 Jun. 2018].

Codigotecnico.org. (2018).

CTE [online] Disponible a:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

[Data d'accés: 7 Jun. 2018].

Codigotecnico.org. (2018).

CTE [online] Disponible a:

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia/>

[Data d'accés: 28 Abr. 2018].

Taure.icc.cat. (2018).

igc. [online] Disponible a:

http://taure.icc.cat/geoLocal/crearAplicacionAtles.jsp?tipus=atl&codi=igc&schema=atles_geotermic_cast#

[Data d'accés: 28 Abr. 2018].

Igme.es. (2018).

Instituto Geológico y Minero de España. [online] Disponible a:

<http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/cartoGeo.htm>

[Data d'accés: 31 Abr. 2018].

Info.igme.es. (2018).

MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 420 (HOSPITALET DE LLOBREGAT). [online] Disponible a:

<http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=420#mapas>

[Data d'accés: 31 Abr. 2018].

Igme.maps.arcgis.com. (2018).

[online] Disponible a:

<http://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=92d3a8e400b44daf911907d3d7c8c7e9>

[Data d'accés: 31 Abr. 2018].

Info.igme.es. (2018).

[online] Disponible a:

<http://info.igme.es/cartografiadigital/sidimagenes/magna/20420/Columnas/Columnas.pdf>

[Data d'accés: 31 Abr. 2018].

Calculaconatecyr.com. (2018).

Calcula con Atecyr. [online] Disponible a:

<http://www.calculaconatecyr.com/vpclima.php>

[Data d'accés: 11 Mai. 2018].

Tarifasgasluz.com. (2018).

Consumo medio de gas natural kWh. [online] Disponible a:

<https://tarifasgasluz.com/faq/consumo-gas-natural-kwh>

[Data d'accés: 15 Mai. 2018].

Enair.es. (2018).

Precios Aerogeneradores. [online] Disponible a:

<https://www.enair.es/es/aerogeneradores/precios>

[Data d'accés: 18 Mai. 2018].